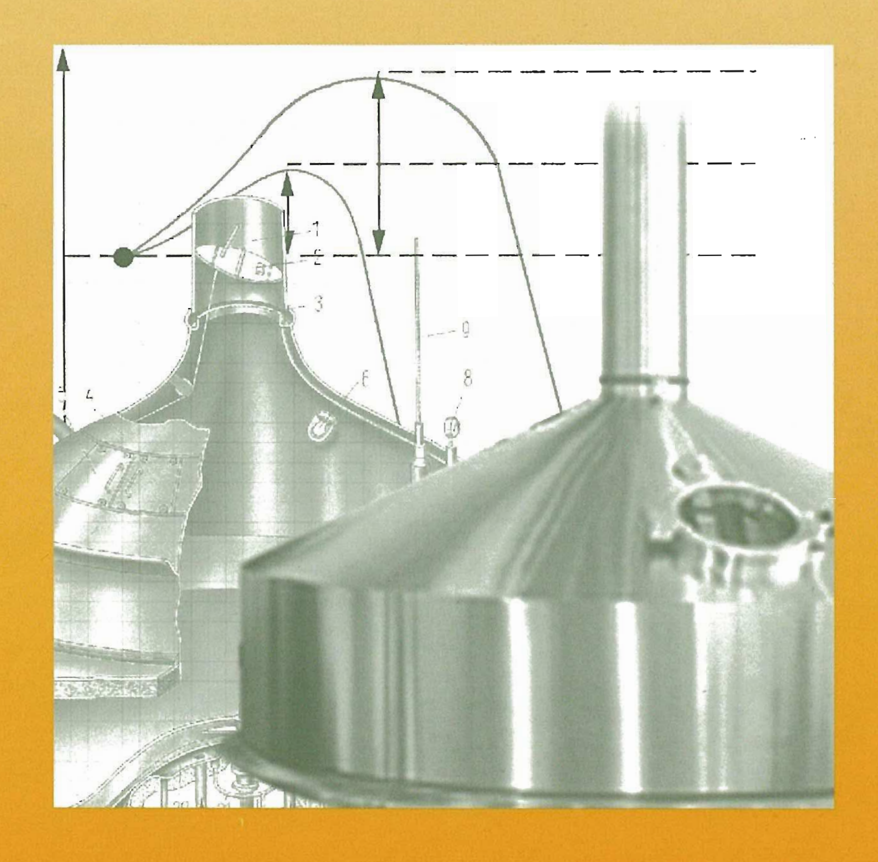
WOLFGANG KUNZE

TECNOLOGÍA para CERVECEROS y MALTEROS



PRIMERA EDICIÓN EN ESPAÑOL



Catalogación bibliográfica: Información bibliográfica de la Deutsche Bibliothek

La Deutsche Bibliothek registra esta publicación en la Deutsche Nationalbibliografie (Bibliografía Nacional Alemana). Bajo dnb.ddb.de se encuentran disponibles en Internet datos bibliográficos detallados.

Wolfgang Kunze
Tecnología para Cerveceros y Malteros
Primera edición en español, 2006

ISBN 10: 3-921 690-54-4
ISBN 13: 978-3-921690-54-3

Traducción:
Claudio R. Bauer, Buenos Aires, Argentina,
www.editecba.com.ar
Diagramación:
Grafikdesign Anne Kulessa, Dresde, Alemania,
www.anne-kulessa.de
Impreso en:
Westkreuz-Druckerei Ahrens KG
Berlín/Bonn

Impreso en Alemania - 2006

WOLFGANG KUNZE

Tecnología para Cerveceros y Malteros

CAPÍTULO 11
escrito en colaboración con el
Dr. Hans-Jürgen Manger

PRIMERA EDICIÓN EN ESPAÑOL

publicada por





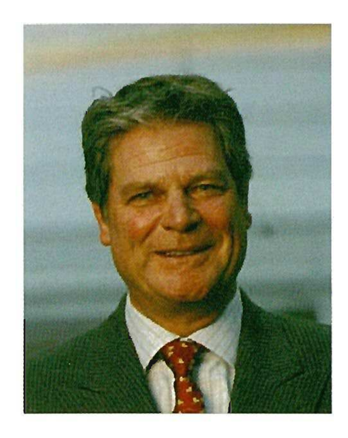
Bitburger
Bitte ein Bit

Inimitable: Bitburger sabe como a cerveza recién tirada

Todas las cervezas alemanas se elaboran, según la Ley de pureza alemana de 1516, con agua, lúpulo, malta y levadura. Pero sólo Bitburger ha alcanzado esa perfección que convierte el arte cervecero en la cerveza más tirada de Alemania. Su auténtico sabor a cerveza de barril entusiasma a los más entendidos. Bitburger Premium Pils. El sabor de la cerveza recién tirada del barril.

Bitte ein Bit

Prólogo de la primera edición de "Tecnología para Cerveceros y Malteros"



En los cinco continentes, cada año se fabrican y se beben alrededor de 1500 millones de hectolitros de cerveza. Las primeras descripciones relativas a la fabricación de cerveza se remontan a hace casi 5000 años. Así, la cerveza es un bien cultural que ha encontrado amigos en todo el mundo. Como elemento de unión entre las personas, la cerveza brinda alegría de vivir y placer, ya que es buena tanto para el espíritu como para el cuerpo. Investigaciones médicas han demostrado, fuera de toda duda, que un consumo moderado de cerveza tiene efectos positivos en la salud humana.

Todo esto nos compromete a nosotros, los cerveceros, a imponer en la fabricación de cerveza las más altas exigencias en lo que respecta a la calidad de las materias primas, de los equipos, de los procesos, y –por último, pero no por ello menos importante– a la calificación de los empleados. En Alemania, donde existen alrededor de 1300 fábricas de cerveza y aproximadamente 5000 marcas, la ciencia cervecera y la capacitación de cerveceros tienen desde siempre una gran importancia. A través de la investigación y el desarrollo específicamente cerveceros –en las Universidades Técnicas de Berlín y Munich-Weihenstephan entre otras–, se han alcanzado grandes progresos. Por último, aunque no menos importante, la Ley de Pureza alemana "Reinheitsgebot", al disponer que sólo se permite utilizar las materias primas naturales, agua, lúpulo, malta y levadura, ha promovido la creatividad de cerveceros e ingenieros.

El vasto conocimiento resultante de ello está reunido en la presente edición de "Tecnología para Cerveceros y Malteros". Desde la primera edición en el año 1961 se han vendido más de 40.000 ejemplares. Mediante las traducciones a los idiomas húngaro, polaco, inglés, yugoslavo, chino y ruso, la edición original alemana ha logrado llegar a cerveceros en todo el mundo. Con la nueva edición en español deseamos ampliar nuevamente el círculo de lectores –en particular, en los países de América del Sur y Central, donde la cerveza es una bebida muy popular–. El conocimiento es dinámico. Por supuesto, también en la industria cervecera y maltera se investiga en forma permanente y se continúa avanzando en su desarrollo. Por ello, la primera edición en español corresponde en su contenido a la tercera edición de habla inglesa, que ha sido revisada completamente por el autor en el año 2004. Se han tenido en cuenta las tendencias actuales, tales como el envasado de cerveza en botellas de PET, la filtración libre de kieselgur, nuevos procesos en la producción de mosto y nuevas aplicaciones en la automatización de procesos.

Con numerosas ilustraciones y su inconfundible estilo didáctico, nuevamente el autor ha logrado describir relaciones complejas en forma clara. La nueva edición demuestra así una vez más la reputación de "Tecnología para Cerveceros y Malteros" como la obra de referencia líder mundial para cerveceros y malteros profesionales.

Dr.-Ing. Axel Th. Simon
Presidente del VLB Berlin

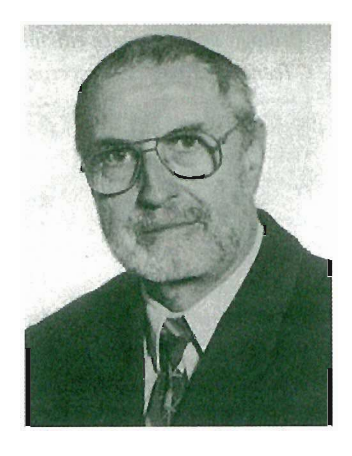
Prólogo del autor

Este libro es la primera edición en español de un libro de enseñanza para cerveceros y malteros, cuya versión original en alemán ya se encuentra entretanto en su 8ª edición y ha sido traducida a seis idiomas. Está basado en la 3ª edición inglesa que ha sido revisada ampliamente por mí en el año 2004. El libro ofrece una combinación importante de las transformaciones relevantes, de las tecnologías disponibles para ello, así como explicaciones de los procesos en la fabricación de malta y de cerveza. Se ha puesto un énfasis particular en la integración de nuevos conocimientos. Tal como en las otras ediciones (alemanas e internacionales), también en esta edición he tratado de presentar el extenso material de forma fácilmente comprensible y –allí donde era posible y conveniente– de aclararlo con diagramas e ilustraciones.

La fabricación de cerveza se ha expandido en gran medida internacionalmente. Hoy en día, la cerveza no se produce únicamente en los países cerveceros clásicos de Europa Central y América del Norte. En especial en América del Sur y Centroamérica, es una bebida extensamente difundida, cuya producción se incrementa año a año.

Pero la fabricación de cerveza también se ha desarrollado en la variedad de los tamaños de fábricas de cerveza, los equipos y los procesos. Junto con fábricas de cerveza muy grandes y equipadas modernamente, se ha desarrollado a nivel mundial una cantidad permanentemente creciente de cervecerías de pub con capacidad de producción pequeña y tecnología muy diferente. En esto tampoco debería pasarse por alto la cantidad creciente de cerveceros caseros que producen y disfrutan ellos mismos su cerveza. Todo esto muestra cuan rico en facetas es el mundo de la cerveza.

Este libro presenta la fabricación de malta y de cerveza esencialmente sobre la base de la Ley de Pureza alemana "Reinheitsgebot". De acuerdo con esta ley alimentaria tradicional, los cerveceros alemanes deben utilizar como materias primas exclusivamente agua, malta, levadura y lúpulo. Todos los demás aditivos están prohibidos. No obstante, en el libro se ha tenido por supuesto en cuenta que en numerosos países se coutilizan adicionalmente también otros productos en la fabricación de cerveza. Esto abarca desde los adjuntos como proveedores de extracto hasta la utilización de enzimas técnicas.



El gran número de variantes en la fabricación de cerveza ha hecho necesario que la selección de las tecnologías presentadas aquí sea restringida a las más importantes. Aparte de ello, en esta edición se ha prestado mayor atención al tema del aseguramiento de calidad de materias primas, de productos intermedios y de la cerveza.

El capítulo 11 "Automatización y planificación de planta" ha sido reescrito completamente para ésta edición en colaboración con el Dr. Hans-J. Manger, a quien deseo agradecer por las numerosas indicaciones. Además, deseo agradecer a la Dirección del Instituto Cervecero de Investigación y Enseñanza en Berlín (VLB), mi Alma Mater, por el apoyo brindado a este proyecto, a Olaf Hendel del Departamento de Relaciones Públicas y Editorial del VLB por su actividad editorial y a Claudio R. Bauer por la traducción española de esta obra extensa. Mi especial agradecimiento está dirigido a la diseñadora gráfica Anne Kulessa que ha llevado a cabo con mucha paciencia mis numerosos requerimientos especiales en lo que respecta a la diagramación, logrando de esta manera que el libro tenga un aspecto equilibrado y atractivo.

A la primera edición española de "Tecnología para Cerveceros y Malteros" le deseo el mejor de los éxitos. Su finalidad es contribuir a que el lector pueda tener una mejor comprensión de las correlaciones en la fabricación de malta y de cerveza, capacitándolo así en la fabricación de cerveza de alta calidad, a los efectos de asegurar de este modo también el éxito económico.

Wolfgang Kunze

Índice general

Cerveza - La bebida popular más antigua

La fabricación de la cerveza está ligada a una sucesión de tres procesos bioquímicos: la formación de enzimas en el grano de cereal germinante, la degradación de almidón a azúcar justamente por parte de esas enzimas y, a continuación, la fermentación del azúcar a alcohol y CO_2. Estos procesos y su resultado embriagante son conocidos por la gente ya desde hace miles de años, sin que se reconociera de primera intención cómo estaban relacionados y su controlabilidad.

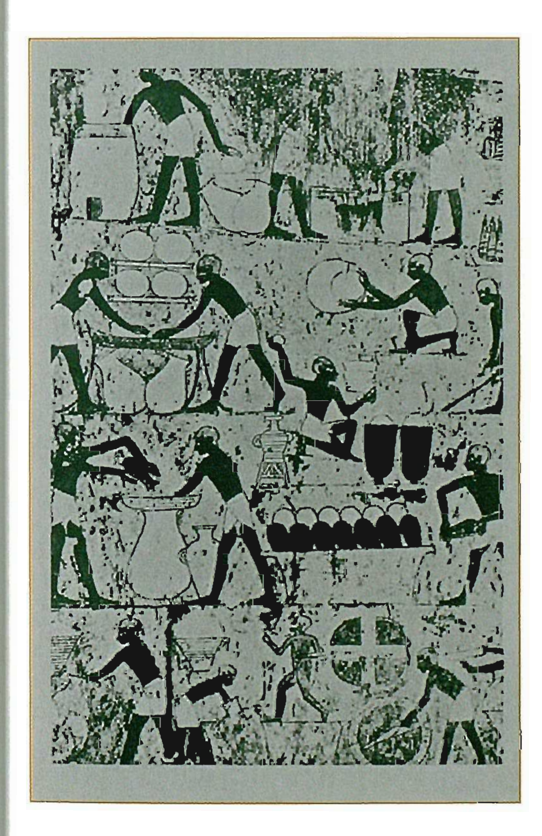


Figura 0.1
Producción de cerveza en el Antiguo Egipto

Nuestros conocimientos respecto de una fabricación encauzada de cerveza por parte del hombre se pierden en los tiempos prehistóricos. Probablemente el momento está relacionado con el sedentarismo de los recolectores y cazadores, con el cual se inicia también el cultivo de cereales.

La mención más antigua de la cerveza se halla en una escritura cuneiforme del año 2800 a.C. en la Mesopotamia, la cual describe la distribución de una ración diaria de cerveza y pan a los trabajadores. La fabricación y el despacho de la cerveza fueron reglamentados de forma precisa en el conjunto de leyes del rey babilónico Hammurabi (1728 a 1686 a.C.). La representación muestra que también tiene que haber habido irregularidades. También en el antiguo Egipto la cerveza experimentó un estado de prosperidad, tal como resulta de numerosas ilustraciones y descubrimientos (Figura 0.1).

Muy tempranamente se supo que la cerveza estaba libre de gérmenes peligrosos y que también el agua, que a menudo no se encontraba en perfecto estado, podía ser tratada por medio de la fermentación y los ácidos naturales generados durante la misma. Por ello, durante muchos siglos no era el agua, sino la cerveza - y en algunas zonas el vino - el líquido utilizado contra la sed, tanto del soberano como del hombre común.

En Europa la cerveza ya era una bebida muy popular para los germanos, los escitas y los celtas, siendo fabricada por las mujeres como alimento diario en los hogares, dado que tanto la fabricación de cerveza como la panificación eran trabajos femeninos en todas las culturas primitivas.

En las cervecerías de los monasterios se realizó luego el pasaje a la industria cervecera,

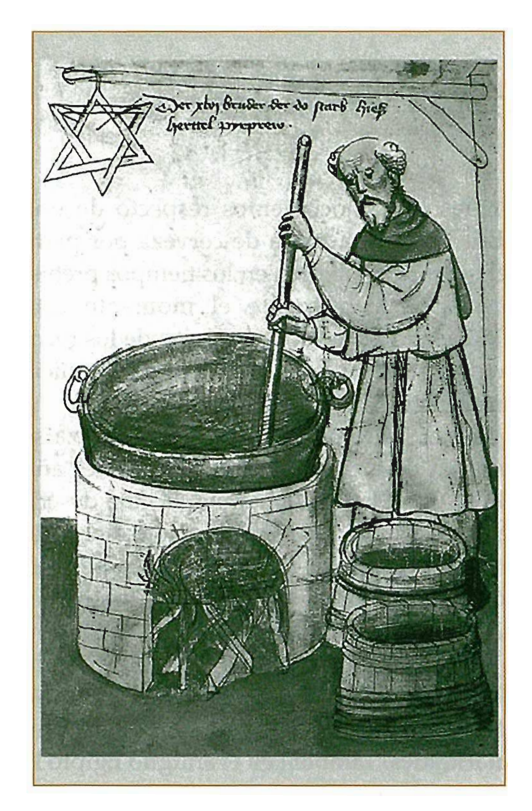


Figura 0.2
Fabricando cerveza, 1397

dado que ya no se fabricaba la cerveza solamente para el consumo propio, sino que se la entregaba contra pago. Al mismo tiempo, se produjo el cambio hacia una profesión masculina (Figura 0.2), lo cual se mantuvo a través de los tiempos hasta el presente. En el siglo XIV se produce la utilización del lúpulo como el único saborizante, luego de haber usado antes sobre todo una mezcla de diferentes condimentos que se denominaba "Grut" en idioma alemán.

En Alemania, las condiciones en la fabricación de cerveza durante la Edad Media en el Norte se diferenciaban notablemente de las del Sur. En el Norte, la fabricación de cerveza era un derecho cívico y tenía lugar en las grandes ciudades cerveceras como Bremen, Hamburgo o Einbeck. En el Sur, se produce paulatinamente en el siglo XIV el pasaje de la fabricación casera a la fabricación industrial de cerveza. De esta manera se imponía, sobre todo en las ciudades, una toma de influencia gubernamental en el desarrollo de la industria cervecera. Esta influencia se manifestó en la forma de que el derecho a fabricar cerveza era concedido como privilegio soberano. Esto es de particular importancia, dado que la fabricación de cerveza se convierte en la temprana Edad Media en una industria muy extendida en el sur alemán (Figura 0.3).

En el siglo XV se afianza la posición industrial de los cerveceros, pero estaba limitada, sobre todo en el sur de Alemania, por innu-

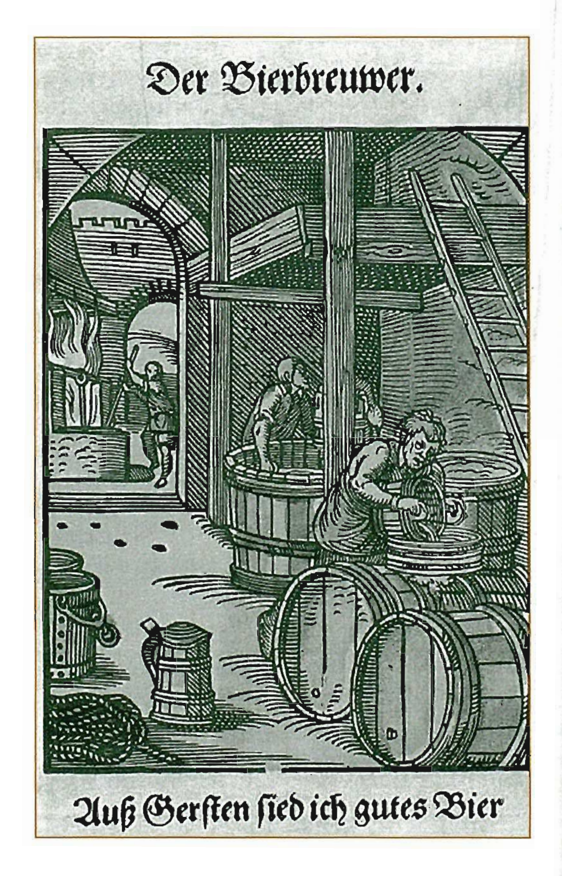


Figura 0.3
Producción de cerveza en la Edad Media, 1568

derlichen/das füran allenthalbñ in vnsern Stettñ/Märck-
ten/vnnd auf dem Lannde/zů kainem Pier/merer stuckh/
dann allain Gersten/hopffen/vnd wasser/genomen vnnd
gepraucht sölle werden. Welher aber dise vnnsere ordnung

Figura 0.4 Extracto de la Ley de Pureza "Reinheitsgebot" del 12 de abril de 1516 (... das füran allenthalbn in unsern Stettn/Märckten unnd auf dem Lannde/zu kainem Pier/merer stuckh/dann allain Gersten/hopffen/und wasser/genomen unnd gepraucht sölle werden ...)

merables disposiciones [5]. Tanto la organización del oficio, así como también la fabricación del producto final y su distribución estaban sujetas a leyes gubernamentales. Estas leyes incluían también disposiciones respecto de los precios de la levadura y la inspección de calidad de la levadura, la cual tenía en cuenta, sobre todo, los intereses de los panaderos, quienes adquirían su levadura de los cerveceros. El artesanado cervecero tenía en aquel entonces, y durante mucho tiempo después, el monopolio de la fabricación de levadura.

Las malas cosechas y otras circunstancias llevaron a veces, debido a la escasez de materia prima, a utilizar otras materias primas, diferentes de las usuales. Así se substituía a veces el lúpulo por hierbas amargas, se utilizaban también cereales primarios en la fabricación de cerveza o se elaboraba con avena barata. Incluso, algunas de las hierbas substitutas utilizadas ponían en riesgo la salud. Para evitar tales inconvenientes se estableció mediante leyes gubernamentales que, para la fabricación de cerveza, se debían utilizar únicamente malta, lúpulo y agua. La primera mención documentada al respecto se encuentra en el Artículo 12 de la "Statuta thaberna", establecida en el año 1434, de la ciudad turingense de Weißensee. También en Munich se mencionó en 1447 la fabricación de cerveza de la misma manera, como documento. La Ley de Pureza Bávara, el "Reinheitsgebot", fue firmada luego, el 23 de abril de 1516, en el Congreso de Estados Provinciales en Ingolstadt, por los duques Guillermo IV y Luis X, que gobernaban de forma conjunta (Figura 0.4), obteniendo así fuerza de ley. Desde 1906 rige en Alemania con fuerza de ley, de forma absoluta para cervezas de fermentación baja, esta ley de pureza, según la cual la cerveza puede ser fabricada únicamente a partir de malta de cebada, lúpulo y agua.

La finalidad de la disposición legal era abastecer a los ciudadanos con una cantidad suficiente de productos a un precio justo. Por este motivo, los concejales reglamentaron, en interés de la protección del consumidor, la fabricación del producto y fijaron el precio dentro del marco de calidad de producto. Por ello, la Ley de Pureza puede ser señalada también como la primera ley mundial de protección del consumidor.

La Guerra de los Treinta Años hizo retroceder el desarrollo de la fabricación de cerveza. Simultáneamente, la aparición de nuevas bebidas, como el té y el café, causó una reducción notable en la producción de cerveza por un período prolongado. Más tarde comienza a imponerse en toda Alemania y Bohemia la cerveza oscura "Lager" de fermentación baja, bajo la denominación "cerveza bávara". Para contrarrestar el avance de estas cervezas bávaras de exportación, se fundaron alrededor de 1830 las primeras fábricas de cerveza bávara fuera de Baviera.

Con el desarrollo de una máquina de vapor utilizable en la práctica, por parte de James Watt en 1765, quedó puesta la piedra fundamental para la implementación de una nueva

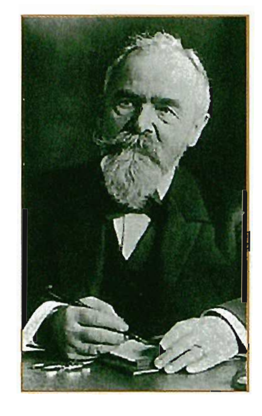


Figura 0.5
Carl von Linde
(1842-1934)

tecnología. En 1784 se introdujeron en Inglaterra las primeras máquinas de vapor, extendiéndose ampliamente por dicho país hasta 1800. Sin embargo, transcurrió un largo tiempo hasta que Gabriel Sedlmayr instaló en 1846, luego de un viaje a Inglaterra, la primera máquina de vapor con 1 HP de potencia en su fábrica de cerveza Spaten, en Munich. La implementación de tales nuevas tecnologías, el invento (1871) y la utilización (1876) de la

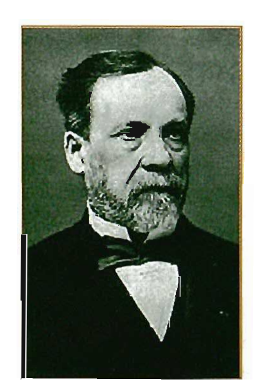


Figura 0.6
Louis Pasteur
(1822-1895)

máquina frigorífica, por parte de Carl von Linde (Figura 0.5), y el desarrollo de los transportes debido a la ampliación de la red ferroviaria condujeron en las décadas posteriores a la construcción nueva y a la ampliación de grandes fábricas de cerveza en todos los países desarrollados. Y no por casualidad la primera mercancía que fue transportada en 1836 en el primer ferrocarril alemán estaba compuesta por dos barriles de cerveza.

Pero sobre todo debido al invento de la máquina frigorífica ya no se era dependiente de la temporada y del almacenamiento de hielo natural en inviernos muy fríos.

El francés Louis Pasteur (Figura 0.6) fue el verdadero iniciador de la microbiología moderna. Él mostró que los procesos de fermentación son atribuibles a la actividad de microorganismos y escribió la frase "La fermentation est la vie sans oxygène" (La fermentación es la vida sin oxígeno). A él debemos agradecerle los conocimientos, aún válidos hoy en día, respecto de la fermentación y las condiciones previas para la conservación de la cerveza (1860).

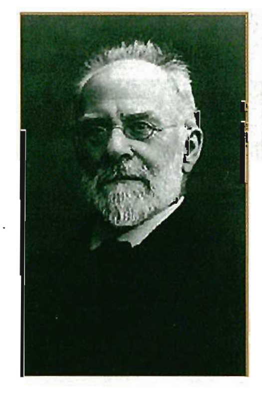


Figura 0.7
Emil Christian Hansen
(1842-1909)

Gracias a los trabajos de Emil Christian Hansen (Figura 0.7) -quien desarrolló en 1883, en el Laboratorio Carlsberg, en Copenhage, el método para el cultivo de levadura pura, el cual mejoró Paul Lindner en 1893 por medio de su "método de cultivo por gotas pequeñas", sentando así las bases para un trabajo impecable desde el punto de vista biológico- era cada vez mejor la posibilidad de utilizar razas puras de levaduras y de disminuir la influencia de contaminantes. Ello fue la base para la marcha triunfal de la cerveza clara, la cual desplazaba cada vez más a la cerveza oscura bávara, hasta ese entonces la usual.

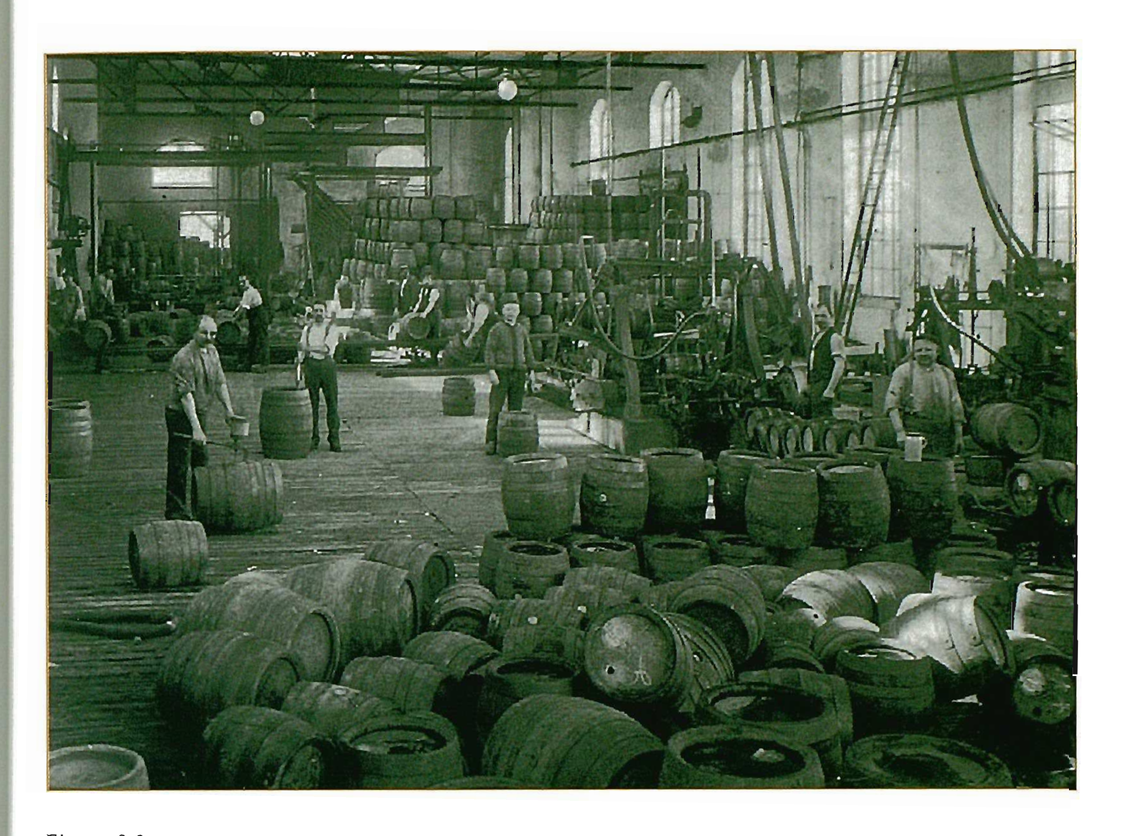


Figura 0.8
Hace cien años: vista de una sala de limpieza de barriles.
El esfuerzo de trabajo para la limpieza de los barriles de madera, que retornaban vacíos, era muy grande.
(Foto: Archivo Radeberger Exportbierbrauerei)

Así se desarrolló en 1842 el prototipo de la cerveza Pils en la Cervecería Cívica en Pilsen, la que más tarde pasó a ser la fábrica de cerveza Pilsner Urquell. Estas cervezas Pils se extendieron por toda Europa y aún hoy el Pils es la variedad de cerveza más bebida en Alemania. En 1875, Adolphus Busch, luego de una visita a Europa, introdujo en el mercado americano, desde su fábrica de cerveza (Anheuser-Busch), la cerveza "Budweiser", de índole similar. Entretanto "Budweiser" es la marca de cerveza más grande en el ámbito mundial. Además, se desarrollaban en todos los países las cervezas claras "Lager", a las cuales corresponden hoy en día la mayoría de las cervezas.

Como resultado de este desarrollo, desde mediados del siglo pasado, tanto en Europa como en América, se fundó una gran cantidad de fábricas de cerveza operadas de ahí en más industrialmente y se modernizaron fábricas existentes, más antiguas. Sin embargo, no debe pasarse por alto que también en aquellos tiempos la parte correspondiente al trabajo manual era muy grande (Figura 0.8). Muchas de las fábricas de cerveza fundadas en aquel entonces continúan hoy como gigantes de producción con perfil propio. A esa fase intensiva de fundaciones nuevas entre los años 1843 y 1875 pertenecen, por ejemplo:

1843 la Schultheiss Brauerei AG en Berlín, la cual era antes de la Primera Guerra

Mundial la fábrica de cerveza Lager más grande de Europa, con una producción anual de 1.700.000 hl,

1847 la fábrica de cerveza Carlsberg en Copenhague, Dinamarca, fundada por J. C. Jacobsen,

1855 la Patzenhofer Brauerei en Berlín, fusionada en 1920 con Schultheiss,

1863 la fábrica de cerveza Heineken en Amsterdam, Holanda, fundada por Gerard A. Heineken,

1868 la Dortmunder Aktien-Brauerei,

1870 la Binding-Brauerei en Francfort / Meno,

1872 la Radeberger Exportbierbrauerei,

1872 la Vereinsbrauerei der Berliner Gastwirthe zu Rixdorf, desde 1910 Berliner Kindl Brauerei AG, Berlín-Neukölln,

1872 la Löwenbräu AG Munich,

1873 la Kaiserbrauerei Beck & Co, ahora Brauerei Beck & Co, Bremen,

1873 la Dortmunder Union Brauerei.

En esos tiempos también habían crecido notablemente fábricas cerveceras ya existentes. Así, la Bass Brewery en Burton-on-Trent, Gran Bretaña, producía ya en 1876 anualmente 2.500.000 hl de cerveza y era considerada en aquellos tiempos como la fábrica de cerveza más grande del mundo. Pero pronto fue sobrepasada por la Arthur Guinness & Son Co. Ltd. de Dublín.

En los EE.UU., el desarrollo de las fábricas de cerveza está estrechamente ligado con la colonización del país por parte de los inmigrantes europeos. Así se formaron las primeras fábricas de cerveza en la Costa Este del país y luego río arriba, de acuerdo con la fundación de grandes ciudades y con la ampliación de la red ferroviaria. En el lapso de pocos años se crearon así:

1849 la Joseph Schlitz Brewing Co. en Milwaukee, Wisconsin,

1850 la Plank Road Brewery, a partir de 1855 Miller Brewing Co,. en Milwaukee, Wisconsin,

1850 la Stroh Brewery Co. en Detroit, Michigan,

1851 la fábrica de cerveza Anheuser, a partir de 1875 Anheuser-Busch en St. Louis, Missouri,

1858 la fábrica de cerveza Gund and Heileman, más tarde Heileman Brewing Co., en La Crosse,

1861 la Pabst Brewing Co. en Milwaukee, Wisconsin,

1873 la Adolphus Coors Brewing Co. en Golden, Colorado.

Pero también en otros países y continentes se nota en la segunda mitad del siglo XIX un avance hacia la era industrial en el oficio cervecero, debido a muchas fundaciones nuevas. Así se fundaron, por ejemplo, en Japón:

1869 la Spring Valley Brewery, desde 1907 la Kirin Brewery Co.Ltd., y

1876 la Hokkaido Kaitakushi Brewery, más tarde la Asahi Brewery Ltd. y la Sapporo Brewery Ltd.,

y en Australia:

1862 la Cooper`s Brewery en Adelaida.

Como resultado de ese desarrollo, también el conocimiento que abarcaba la fabricación de cerveza había entretanto pasado a ser aprendible y enseñable. En algunos países productores de cerveza se desarrollaron primeramente laboratorios e institutos de ensayo, los cuales se ampliaron con el correr de los años a centros de enseñanza cervecera, tales como:

- la Brauereihochschule Weihenstephan, en las afueras de Munich (1865), que hoy en día es la Cátedra de Tecnología de la Industria Cervecera en el Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt de la Universidad Tecnológica de Munich,
- el Laboratorio Analítico Dr. Siebel en Chicago (1868), que hoy en día es el Siebel Institute of Technology,
- la Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei en Berlín (VLB) (1883),

- la Escuela de Cerveceros en Gante (1885),
- el Institute of Brewing (IOB) en Londres (1886),
- la Doemens-Lehranstalten en Gräfelfing, en las afueras de Munich (1895)

y otros.

Al mismo tiempo, se crearon varias publicaciones especializadas, con ayuda de las cuales se podían transmitir conocimientos científicos y también otras informaciones especializadas de interés. Así, por ejemplo:

- "Allgemeine Brauer- und Hopfenzeitung", que hoy en día es la "Brauwelt", en Nuremberg (1861),
- "Brewer's Journal", en Londres (1864),
- "The American Brewers Gazette", en Nueva York (1871),
- "Brewers Guardian" (1871),
- "The Western Brewer", en Chicago (1876),
- "Wochenschrift für Brauerei", en Berlín (1883), que hoy en día es la "Brauerei-Forum",
- "Tageszeitung für Brauerei", en Berlín (1903),

y otras más.

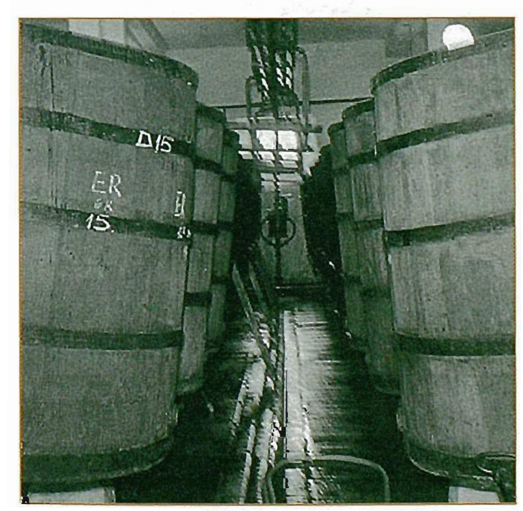


Figura 0.9
Durante mucho tiempo las cubas y los barriles de madera marcaban la fisonomía de la fábrica de cerveza.

Especialistas en análisis se organizaron para hacer también comparables internacionalmente los valores de análisis, por medio de métodos de análisis estandarizados. Así, por ejemplo:

- la Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission (MEBAK),
- la European Brewery Convention (EBC),
- la American Society of Brewing Chemists (ASBC),

y otras.

De la misma forma se desarrollaron en casi todos los países poderosas federaciones cerveceras y gremios de cerveceros. Así, en Alemania el

- Deutsche Brauer-Bund e.V. (DBB), funda do en 1871 en Dresde,
- Deutscher Braumeister- und Malzmeister-Bund e.V. (DBMB), fundado en 1893 en Leipzig,
- Bundesverband mittelständischer Privatbrauereien e.V., Deutscher Mälzerbund e.V.,

en los EE.UU. la

- Master Brewer's Association of the Americas (MBAA),

y otras más.

En Alemania, la Ley de Pureza "Reinheitsgebot" era la ley dominante, pero sobre todo los cerveceros estadounidenses percibieron ya en los años 60 y 70 del siglo XIX la ventaja económica en la coutilización de harina de maíz o de sémola de arroz. Por medio del perfeccionamiento de la técnica y la tecnología de procesamiento del grano crudo, se creó un nuevo tipo de cerveza, que alcanzó entretanto importancia en el nivel mundial.

En los EE.UU. la fabricación de cerveza sufrió un duro golpe debido a la prohibición alcohólica (Ley Seca) impuesta en 1919. En aquellos tiempos, las fábricas de cerveza se podían mantener a flote únicamente debido a la "cerveza nutritiva". Como resultado de la Ley Seca, la cual fue revocada recién en 1933, la criminalidad y el contrabando de bebidas

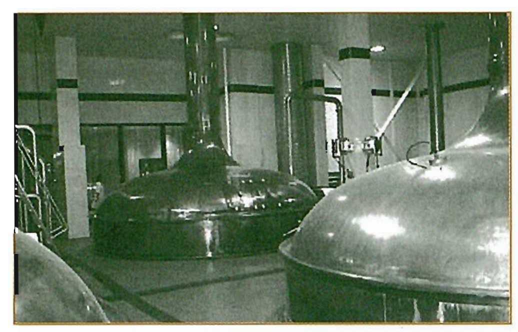


Figura 0.10
Los recipientes de cocción de cobre eran el orgullo del maestro cervecero.

alcohólicas se habían expandido notablemente, de manera que el resultado de la Ley Seca era manifiestamente negativo. También en los países escandinavos hubo en esos tiempos y hay hasta hoy en día importantes restricciones en la fabricación y la venta de bebidas alcohólicas.

Si se observa el desarrollo de las fábricas de cerveza en Alemania en la segunda mitad del siglo XIX, no debe pasarse por alto que en 1873 había operando allí aún 13.561 fábricas de cerveza, de las cuales 10.171 producían su cerveza con fermentación alta. A ello hay que sumarle 36.297 hogares en los cuales tenía lugar la elaboración de bebida casera, libre de impuestos [2].

En 1891, la cifra de fábricas de cerveza en operación había disminuido ya a 7.785, en parte acompañando la fundación de grandes sociedades anónimas cerveceras y cooperativas. A pesar de ello, una cantidad de fábricas de cerveza artesanales de aquellos tiempos pudo mantenerse hasta el presente. Pero la muy fuerte diferenciación en los tamaños de explotación ocasionaba, por motivos de costos, una posibilidad notablemente mejor de implementación de tecnología moderna en las fábricas de cerveza más grandes. Sobre todo, la implementación de calderas de

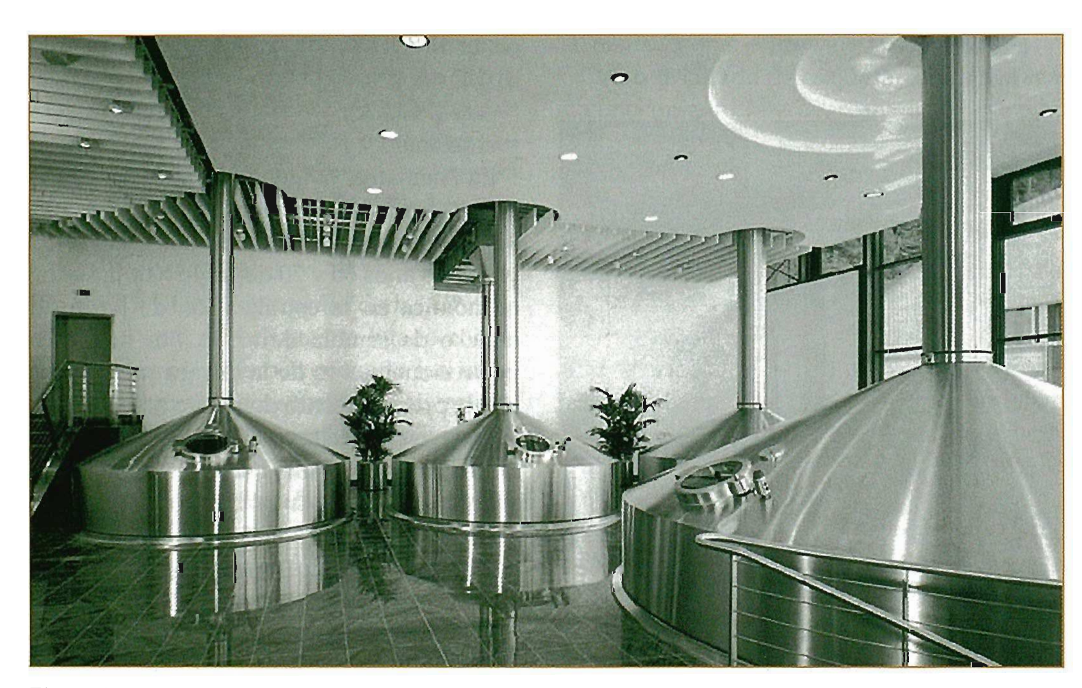


Figura 0.11
Los recipientes de cocción de acero inoxidable son el estado actual de la técnica.

vapor, calentadas con carbón, para el abastecimiento propio de energía de la caldera de cocción en la sala de cocción y para la operación de una máquina de vapor, para el accionamiento del compresor de la máquina frigorífica y un suministro propio de energía hizo valer la ventaja económica de los establecimientos grandes. Los pequeños establecimientos artesanales no podían permitirse los equipos caros y se quedaron con sus aparatos y procesos tradicionales; algunos hasta el presente.

El material tradicional para el cervecero, la madera (Figura 0.9), desapareció lentamente de las fábricas de cerveza y fue substituido por el hierro, inicialmente revestido con brea. Las cubas de madera fueron substituidas por cubas abiertas de fermentación y los barriles de madera para almacenamiento, ensillados uno sobre otro en hileras, fueron substituidos por tanques. Pero este proceso se prolongó en algunas fábricas de cerveza hasta la última década del milenio pasado, por diversas consideraciones. Junto con el hierro, el aluminio pasó más tarde a tener importancia en las fábricas de cerveza, sobre todo para construir recipientes de fermentación y almacenamiento.

Sin embargo, las mayores modificaciones se dieron en el material y en el calentamiento de los aparatos de cocción. Aquí el cobre, como material para recipientes, conquistó la sala de cocción, luego de las pailas abiertas de fundición, tal como eran aún usuales a principios del siglo XIX. Los recipientes brillantes, repujados, con su bella campana de cobre y la chimenea de vapores, calentados al principio por carbón o gas y operados desde hace aproximadamente 90 años progresivamente con vapor, eran el orgullo del maestro cervecero (Figura 0.10). Y a menudo aún hoy una campana de cobre cubre un moderno recipiente de acero inoxidable, que se encuentra debajo de aquélla.

Sin embargo, desde que se dispone de aceros inoxidables aleados y también de las herramientas para trabajar este material duro, el avance triunfal de éstos ya no se puede detener. También el barril de madera para el transporte, que se mantuvo por siglos, cedió su lugar al keg de acero inoxidable.

Con el acero inoxidable ingresaban a la fábrica de cerveza cada vez más los sistemas automatizables de limpieza. Por ello y por la creciente mecanización y automatización de los procesos de producción se redujo notablemente el trabajo físico pesado, y al mismo tiempo se redujo cada vez más la necesidad de mano de obra. También los aparatos de cocción siguieron esa tendencia (Figura 0.11), máxime cuando las ventajas tecnológicas predominan ampliamente y las pailas de cobre repujadas ya no se pueden pagar, por lo caras.

En la producción de malta y cerveza sólo se mantuvieron los procesos bioquímicos básicos a través de los siglos:

- la germinación de la cebada en la maltería, para formar enzimas,
- la maceración en la sala de cocción, para dejarla actuar y formar azúcares fermentables, y
- la fermentación de los azúcares a alcohol y dióxido de carbono.

Hace 150 años era corriente que uno mismo produjera la malta que necesitaba. Para ello casi todas las fábricas de cerveza tenían una pequeña maltería, donde en invierno se producía la malta, que luego se consumía a principios del verano en la fabricación de cerveza. Esto era realizado por los mismos obreros, con lo cual se creó también de forma natural la doble profesión de "cervecero y maltero", la cual sigue existiendo en el presente en Alemania.

Pero por esa misma época se crearon entonces también malterías comerciales, en parte como fábricas de malta especial, separadas de la fábrica de cerveza. Así, por ejemplo:

1823 la Bairds' Malt Ltd. en Witham, Essex,

Gran Bretaña,
1864 la Friedrich Weissheimer Malzfabrik en Andernach, Alemania,
1868 la Pauls Malt Ltd. en Ipswich, Suffolk, Gran Bretaña,
1879 la Michael Weyermann Malzfabrik en Bamberg, Alemania.

Por supuesto que la producción de malta en aquellos tiempos y hasta mediados del siglo XX exigía aún mucho trabajo, prevaleciendo el trabajo físico pesado en las enormes eras. Asimismo, en los tostaderos, el trabajo de volteo era realizado todavía por obreros. El camino hasta los modernos sistemas neumáticos de malteo está ligado a grandes ahorros de energía y mano de obra. El ordenador es quien rige hoy en día en la maltería, en gran parte sin personas. La producción de malta se realiza sobre todo en grandes empresas, de las cuales la mayoría son resultado de la fusión de varias más pequeñas. Las más grandes de aquéllas producen más de 1.000.000 t anuales de malta, tales como las empresas norteamericanas Con Agra/Tiger - Oats Malt (1996) y Cargill Inc.(1978) o también las francesas Groupe Soufflet (1952) y Groupe Malteurop (1984) (paréntesis = año de fundación). Pero también otras empresas, como las norteamericanas Lesaffre-ADM (1998) o Rahr Malting (1847), la inglesa Greencore Group (1991) o la Friedrich Weissheimer Malzfabrik (1864) producen anualmente más de 500.000 t de malta. Todas las empresas tienen hoy en día fábricas subsidiarias en otros países, a los efectos de poder producir de forma más económica in situ (Figura 0.12). Estas grandes empresas producen todas juntas aproximadamente 7.000.000 t de malta y abastecen con ello escasamente la mitad de la cantidad de malta, estimada en 15.400.000 t, necesaria mundialmente [238] para el abastecimiento de cerveza (2002/3).

Pero también en otras áreas de la fábrica de cerveza ha habido cambios revolucionarios en los últimos 150 años. Los mayores cambios producidos después de la introducción de la máquina frigorífica se debieron primeramente a la implementación del filtrado de cerveza por parte de Lorenz Enzinger (1879). Desde entonces es posible obtener por filtración una cerveza brillante, al principio por masa filtrante, luego por kieselgur y otros medios. Gracias al uso de estabilizantes adecuados, la cerveza puede hacerse conservable por mucho tiempo y, de esta manera, se la puede producir independientemente del consumo.

Debido al desarrollo de la botella y luego de la lata de cerveza, y a la utilización masiva del vaso de cerveza en vez de la hasta entonces dominante jarra opaca, la cerveza clara y brillante se pone cada vez más de moda -en vez de la cerveza oscura- también fuera del restaurante. Y actualmente, con la distribución a través de los mercados, es imposible no tenerla en cuenta también en los hogares como cerveza en botella o en lata.

El desarrollo de líneas embotelladoras de alta capacidad, con las cuales también se excluye prácticamente el

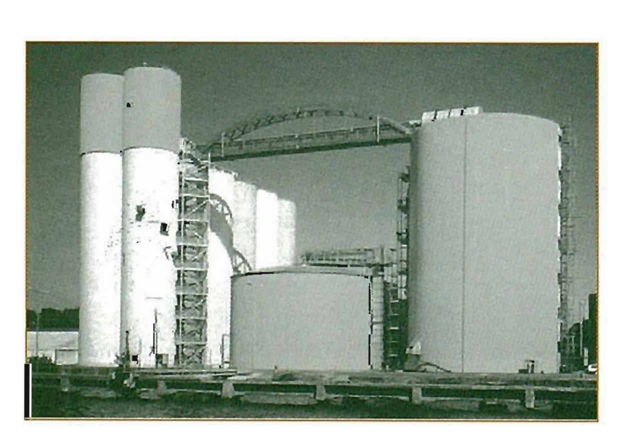


Figura 0.12
Una maltería en la actualidad

ingreso de aire a la cerveza, posibilita hoy en día el mantenimiento de toda la calidad de la cerveza por mucho tiempo. Sobre esto se han adquirido en años recientes importantes conocimientos, dado que hasta hace pocos años la estabilidad de sabor en la cerveza representaba un gran problema.

Pero no sólo es importante la calidad de la cerveza. Es cada vez más notorio que se le debe dar a la cerveza un aspecto exterior atractivo y de buen gusto, si se quiere inducir al cliente a realizar la compra (Figura 0.13). También la etiqueta sobre la botella debe hacer publicidad para este producto único con la forma, la organización de los colores y la impresión. Pero una sola etiqueta no surte aún efecto suficiente. Es por ello que también debe tener una cápsula en la parte superior, si el vecino también tiene algo así.

Pero no sólo la botella, sino también el vaso de cerveza despertó ya hace rato de su existencia como un anónimo vaso grande con asas, tal como se lo encuentra aún en restaurantes con jardín y sobre las mesas reservadas para los parroquianos. Ilustrado con una decoración propia de la fábrica de cerveza, refleja hoy en día, con la forma y el diseño, su "filosofía de ventas" para justamente ese tipo de cerveza. También el vaso, recién llenado y servido atractivamente con el posavasos para gotas y el platillo propio, debe transmitir al sediento la alegría por la bebida, tanto en la gastronomía como en el hogar -al fin y al cabo, también los ojos acompañan el beber-. Hoy en día, una cuidada cultura de bebida forma cada vez más parte de las comidas y de la vida social.

En la actualidad, se puede supervisar la producción de cerveza por medio de la utilización de mecanismos versátiles de control y regulación. Una perfeccionada técnologia en línea permite un control ininterrumpido de la producción. Con el ingreso de la técnica de automatización, es posible dejar que la mayoría de los procesos de producción de cerveza sigan su curso de forma automática. También



Figura 0.13
La acción combinada en el aspecto exterior de la botella, la etiqueta, el vaso de cerveza y el platillo es cada vez más una parte determinante del prestigio de la marca

el lugar de trabajo del cervecero está siendo influido cada vez más por el ordenador. La calidad de las materias primas y de los materiales adicionales ha alcanzado entretanto, por medio de métodos de cultivo y controles adecuados, un nivel que garantiza la condición previa para una buena calidad de cerveza.

Por ello, hoy las exigencias para el cervecero son mayores. Él debe supervisar el conjunto y tomar las decisiones correctas con una cantidad notablemente mayor de información, por un lado, y una inspección visual más reducida del producto, por el otro. Consecuentemente, debe darse especial importancia a su amplio conocimiento. Incrementar éste y mantener la coherencia es el objetivo esencial de este libro.

La cantidad y el tamaño de las fábricas de cerveza de un país depende del desarrollo histórico. Con relación a otros países hay todavía muchas fábricas de cerveza en Alemania, en su mayoría en la Alta Franconia. Más de la mitad de las fábricas de cerveza alemanas son pequeños establecimientos, en gran parte cervecerías de restaurantes, cuya cifra creció entretanto a cerca de 350. Las aproximadamente 1000 fábri-

cas de cerveza con una producción anual de hasta 50.000 hl producen sólo el 7% de la cantidad total de cerveza.

Además de ello, se ha producido en todo el mundo el desarrollo de pequeñas fábricas de cerveza y, en especial, cervecerías pubs (cervecerías temáticas), las cuales gozan de una popularidad creciente. Se puede estimar que su cantidad en el orden mundial ha crecido en más de 3000. Debe agregarse a ello el creciente número de cerveceros que realizan esta actividad como hobby, los cuales -observando las disposiciones legales de cada país- fabrican su propia cerveza.

A pesar del estancamiento en el consumo de cerveza en muchos países de Europa y Norteamérica, la producción de cerveza ha crecido mundialmente en los últimos 11 años aproximadamente un 25 %, lo cual corresponde a una tasa de crecimiento promedio de 28 millones de hl. La producción mundial de cerveza creció de la siguiente manera, en el ámbito mundial [140 + 217]:

Año	Producción mundial de cerveza en millones de hl	Variación anual en millones de hl	en %
1992	1,163		
1993	1,190	27	2.32
1994	1,222	32	2.69
1995	1,248	26	2.12
1996	1,269	21	1.68
1997	1,295	26	2.05
1998	1,313	18	1.39
1999	1,365	52	3.96
2000	1,392	27	1.98
2001	1,424	32	2.30
2002	1,444	22	1.54
promedio		28.3	2.18

El incremento en la producción de cerveza (con un consumo promedio per cápita de 23 litros, en el ámbito mundial) ocurrió en primer lugar en los países de Europa Oriental, América Latina, en algunos países de Asia y Oceanía, así como también en Sudáfrica. Sin embargo, el mayor incremento tuvo lugar en China, con una producción de cerveza en el orden de los 240 millones de hl en el año 2000 (en 1997 eran todavía 170 millones de hl). De esa manera, China se convirtió en el país cervecero nº 1, dejando atrás de sí a los EE.UU. Pero debe tenerse en cuenta que, con una población de 1300 millones de habitantes, el consumo per cápita es sólo de 18 litros, en tanto en Alemania el consumo per cápita se encuentra por encima de los 100 litros. También en Rusia la producción de cerveza ha aumentado de forma impresionante y sigue creciendo todavía. Los países productores de cerveza con una producción anual por encima de 2 millones de hl son listados a continuación [140] (indicaciones en millones de hl):

Europa

País	**1993**	**1995**	**2002**
Alemania	116.0	117.0	108.3
Rusia	24.5	17.7	70.2
Gran Bretaña	54.9	58.8	56.6
España	24.3	25.3	27.8
Polonia	16.7	15.2	26.0
Países Bajos	20.4	23.1	24.8
Francia	18.3	18.3	18.1
República Checa	17.8	17.8	18.1
Bélgica	14.2	14.5	15.7
Ucrania	14.0	5.7	14.9
Italia	11.7	12.0	12.6
Rumania	9.1	8.5	11.4
Irlanda	6.9	7.4	9.1
Austria	9.8	9.7	8.7
Dinamarca	9.4	10.0	8.5
Hungría	7.8	7.8	7.4
Turquía	5.4	6.9	7.3
Portugal	6.8	6.9	7.1
Suecia	5.5	5.3	5.0
Yugoslavia	5.0	5.4	4.8
República Eslovaca	3.9	4.4	4.8
Bulgaria	4.2	4.7	3.9
Grecia	4.1	4.1	4.5
Finlandia	4.4	4.4	4.1

Croacia	2.4	3.2	3.7
Suecia	3.9	3.7	3.5
Lituania	1.2	1.6	2.6
Eslovenia	2.0	2.1	2.5
Noruega	2.1	2.2	2.2
Europa total	**435.9**	**430.7**	**504.8**

América			
País	**1993**	**1995**	**2002**
EE.UU.	237.3	233.7	234.6
Brasil	57.0	84.0	86.0
México	43.8	44.5	63.7
Canadá	23.0	22.8	21.3
Venezuela	15.5	15.9	16.0
Argentina	10.3	10.4	13.9
Colombia	19.5	17.8	12.0
Perú	6.8	8.5	6.0
Chile	3.6	4.1	4.0
República Dominicana	2.2	3.1	2.7
Ecuador	2.5	2.3	2.7
América total	**436.0**	**459.2**	**479.0**

África			
País	**1993**	**1995**	**2002**
Sudáfrica	22.8	24.5	24.4
Nigeria	6.7	4.5	7.0
Camerún	3.6	3.2	4.4
Kenia	2.7	3.2	2.6
África total	**54.0**	**54.9**	**63.1**

Asia			
País	**1993**	**1995**	**2002**
China	122.5	154.6	235.6
Japón	68.9	67.2	71.3
Corea del Sur	15.3	17.7	20.0
Tailandia	4.2	6.5	12.3
Filipinas	13.5	14.0	12.0
Vietnam	2.3	5.0	8.1
India	3.0	4.3	6.0
Taiwan	4.6	4.3	3.8
Asia total	**40.2**	**281.7**	**375.7**

Australia/Oceanía			
País	**1993**	**1995**	**2002**
Australia	18.0	17.9	17.5
Nueva Zelanda	3.5	3.5	3.0
Australia total	**22.5**	**22.3**	**21.5**

El consumo per cápita difiere enormemente entre los distintos países. El consumo per cápita más elevado lo tienen los checos, con aproximadamente 160 litros, cifra constante desde hace décadas. Los siguen los irlandeses y los alemanes, los cuales, sin embargo, están perdiendo cada vez más esa posición de supremacía. La siguiente tabla informa respecto del consumo per cápita de cada uno de los países [213]:

País	**1993**	**1995**	**2001**
República Checa	161.1	159.1	160.0
Irlanda	112.6	112.7	126.0
Alemania	138.0	135.9	125.5
Dinamarca	126.7	124.4	102.2
Austria	116.6	115.7	108.1
Bélgica/Luxemb.	105.6	103.5	98.0
Gran Bretaña	103.7	100.9	95.4
Australia	98.9	96.9	95.4
Nueva Zelanda	102.1	98.8	93.9
Rep. Eslovaca	93.4	87.5	90.2
EE.UU.	85.2	83.5	83.4
Países Bajos	86.0	85.8	82.8
Finlandia	82.9	80.2	77.9
Hungría	84.7	75.3	72.3
Venezuela	73.6	71.9	71.0
España	66.5	66.6	70.8
Canadá	68.5	68.9	67.8
Portugal	62.3	64.7	64.6
Suecia	67.3	64.5	56.1
Japón	59.9	56.2	55.7
Colombia	57.5	57.5	54.5
Sudáfrica	56.9	55.5	54.2
México	49.8	50.9	53.4
Bulgaria	53.2	53.2	53.3
Noruega	50.5	52.5	51.5
Polonia	36.4	39.0	45.7
Grecia	42.0	40.0	39.0
Rumania	41.7	39.2	38.0
Francia	39.3	39.1	36.2
Islandia	27.3	30.6	32.5

Las 40 fábricas de cerveza más grandes del mundo, al 31/12/2003

La siguiente tabla ofrece un panorama sobre las fábricas de cerveza más grandes y los grupos cerveceros, en el ámbito mundial. Mientras tanto, muchos han continuado creciendo por medio de compras y fusiones. Así la "Inbev", creada a partir de "Interbrew" y "Ambev", es el grupo más grande de los grandes, con una producción de cerveza de 154 millones de hl (2004). Los cinco grupos cerveceros líderes controlan así más del 40 % del mercado cervecero mundial.

Posición	Fábrica de cerveza	País	Producción en millones de hl	Porción de la producción mundial de cerveza
1	Anheuser-Busch	EE.UU.	152,0	10,3%
2	SAB-Miller	Sudáfrica	137,8	9,3%
3	Heineken	Países Bajos	99,0	6,7%
4	Interbrew	Bélgica	97,9	6,6%
5	Carlsberg	Dinamarca	88,8	6,0%
6	AMBev	Brasil	67,4	4,6%
7	Modelo	México	41,9	2,8%
8	Coors	EE.UU.	38,6	2,6%
9	Tsingtao	China	32,6	2,2%
10	Scottish & Newcastle	Gran Bretaña	31,8	2,2%
11	Asahi	Japón	25,9	1,8%
12	Femsa (Cuauhtemoc)	México	24,6	1,7%
13	Santo Domingo (Bavaria)	Colombia	23,5	1,6%
14	Kirin	Japón	23,1	1,6%
15	Yan Ying	China	22,3	1,5%
16	Molson	Canadá	21,0	1,4%
17	Baltika	Rusia	16,1	1,1%
18	Schincariol	Brasil	15,0	1,0%
19	San Miguel	Filipinas	14,8	1,0%
20	Diageo/Guinness	Gran Bretaña/Irlanda	13,0	0,9%
21	Foster´s	Australia	12,7	0,9%
22	BGI/Castel	Francia	12,6	0,9%
23	Efes	Turquía	11,8	0,8%
24	Harbin	China	11,7	0,8%
25	Chang	Tailandia	11,1	0,8%
26	Polar	Venezuela	11,0	0,7%
27	Lion Nathan	Nueva Zelanda/Australia	10,6	0,7%
28	Mahou - San Miguel	España	10,3	0,7%
29	Hite	Corea del Sur	10,0	0,7%
30	Gold Star	China	9,4	0,6%
31	Chong Qing	China	9,1	0,6%
32	Zhu Jiang	China	8,8	0,6%
33	Holsten	Alemania	8,8	0,6%
34	Sapporo	Japón	8,5	0,6%
35	Radeberger	Alemania	7,6	0,5%
36	Brau und Brunnen	Alemania	7,2	0,5%
37	Suntory	Japón	6,8	0,5%
38	Damm	España	6,1	0,4%
39	Otschakovo	Rusia	6,0	0,4%
40	Bitburger	Alemania	5,8	0,4%
1-40	**Total**		**1.173,0**	**79,3%**
Producción mundial de cerveza (2003)			**1.478,5**	**100 %**

1 *Materias primas*

Para la fabricación de cerveza se requieren cuatro materias primas: cebada, lúpulo, agua y levadura. La calidad de estas materias primas tiene una influencia decisiva sobre la calidad de los productos fabricados. El conocimiento de las propiedades de las materias primas, de su influencia sobre el proceso y sobre el producto final proporciona el fundamento para su tratamiento y procesamiento. De esta manera, es posible controlar racionalmente el proceso tecnológico.

La CEBADA es la materia prima principal para la fabricación de cerveza. Su utilización se basa en el hecho de que tiene un alto contenido de almidón y que la cáscara (gluma) sigue adherida al grano aún después de la trilla y de haber sido procesada para ser transformada en malta. La cáscara posee, además, la propiedad de formar una capa filtrante, necesaria en una posterior etapa de fabricación. Previo a su procesamiento en la fábrica de cerveza, la cebada debe ser convertida en malta.

Fig. 1.0
Espiga de cebada con barbas largas

En algunos países son utilizados en el procesamiento también cereales sin maltear, tales como maíz, arroz, sorgo, cebada, trigo o productos elaborados a partir de éstos, como ADJUNTOS. El TRIGO y otros cereales pueden ser utilizados en Alemania también de forma malteada en cervezas de fermentación alta.

El LÚPULO le da a la cerveza el sabor amargo y tiene influencia sobre el aroma. De su calidad depende en gran medida la calidad de la cerveza.

La mayor porción de materia prima está formada por el AGUA, la cual influye en el carácter y la calidad de la cerveza a través de muchos procesos durante la fabricación. Aparte de ello, se requiere el agua para la limpieza y la desinfección, y para muchos otros procesos en la maltería y en la fábrica de cerveza.

En la cerveza, la fermentación alcohólica depende de la actividad de la LEVADURA, que es por ello necesaria para la elaboración de cerveza. Debido a sus subproductos, la levadura tiene también una gran influencia sobre la calidad de la cerveza.

1.1 Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*) suministra el almidón necesario para la fabricación de cerveza, el cual es transformado posteriormente en la sala de cocción en extracto fermentable. Es necesario producir cebadas que suministren maltas ricas en extractos, por medio del cultivo de variedades adecuadas.

1.1.1 Tipos de cebada y variedades

La cebada es un cereal cuyas espigas se destacan por tener barbas particularmente

largas (Figura 1.0). Se diferencia aquí entre algunos tipos de cebada y muchas variedades, que tienen importancias diferentes para la fabricación de malta y cerveza.

1.1.1.1 Tipos de cebada

En la cebada se diferencia entre el tipo invernal (cebada de invierno), que es sembrado a mediados de septiembre, y el tipo estival (cebada de verano), sembrado de marzo a abril.

En ambos existen variedades que, según el ordenamiento de los granos sobre el raquis (eje de la espiga), pueden ser clasificadas en variedades de dos hileras o de varias hileras. En las cebadas de varias hileras se encuentran sobre cada nudo del raquis de una espiga tres florecillas fértiles, las cuales forman un grano cada una, luego de la polinización. Mirando la espiga desde arriba, se ven, tanto a la izquierda como a la derecha, tres granos (cebada de seis hileras) (Figura 1.1). Cuando los segmentos internodales del raquis son relativamente largos, pueden identificarse a menudo únicamente cuatro hileras. Ello es debido a que son tapadas las otras dos hileras, que se encuentran encima. Sin embargo, existen en la realidad (cebada de cuatro hileras).

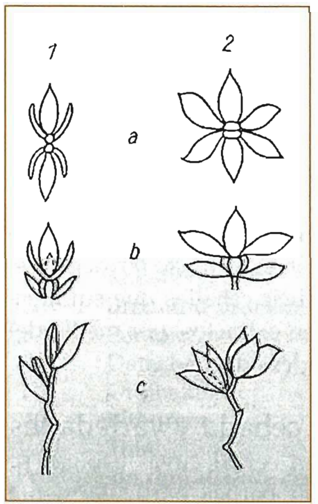


Figura 1.1
Formación de la espiga de cebada (según Aufhammer)
(1) cebada de dos hileras
(2) cebada de seis hileras

vista:
a) desde arriba
b) desde la hilera intermedia
c) lateral

En las cebadas de dos hileras se forma solamente un grano en cada segmento internodal del raquis, debido a que se encuentra disponible sólo una florecilla fértil. Mirando desde arriba se ve entonces, tanto a la izquierda como a la derecha, un grano (cebada de dos hileras).

Los tipos de cebada (cebada de verano, cebada de invierno, cebada de dos hileras, cebada de varias hileras) se diferencian entre sí por varios factores, que son importantes para nosotros.

Las cebadas de *dos hileras* tienen granos grandes e hinchados, usualmente con una cáscara delgada, finamente arrugada. Con ello, esta cebada contiene relativamente más substancias útiles y tiene menos cáscara, conteniendo así menos taninos y compuestos amargos. Los granos son todos muy uniformes. El contenido de extractos es comparativamente alto. *Las cebadas de dos hileras son cultivadas preferentemente como cebada de verano y concentran en sí mismas todas las ventajas para la fabricación de malta y cerveza.*

Las cebadas de *seis hileras* tienen granos de tamaño irregular. Debido a que los granos no tienen suficiente lugar para el crecimiento, aquellos ubicados en las hileras de granos laterales son más delgados y su extremo distal está curvado (granos doblados). Los granos doblados sirven como característica para reconocer cebadas de seis hileras.

Sin embargo, los rendimientos de la cebada de invierno son, con aproximadamente 6 t/ha, notablemente mayores que los rendimientos de la cebada de verano con aproximadamente 4 t/ha, lo cual naturalmente resulta del período más corto de vegetación de la cebada de verano (150 días frente a 300 días para la cebada de invierno). Por ello, en muchos países se produce en mayor medida más cebada de invierno que cebada de verano.

También en las cebadas cerveceras tenemos, aparte de:

- cebadas de verano de dos hileras, también
- cebadas de invierno de dos hileras,
- cebadas de invierno de seis hileras, y
- cebadas de verano de seis hileras.

1.1.1.2 Variedades de cebada

Dentro de estos tipos hay una gran cantidad de variedades, las cuales se diferencian notablemente en una serie de propiedades. Solamente en los países integrantes de la European Brewery Convention (EBC) existen aproximadamente 300 cebadas de verano, 100 variedades de cebada de invierno de dos hileras y 100 de seis hileras. Esto sólo ya muestra toda la diversidad.

Para los objetivos de malteado y fabricación de cerveza son por lejos más apropiadas las cebadas de verano de dos hileras, dado que desde hace más de 100 años se ha trabajado sistemáticamente sobre éstas, en el sentido de mejorar su calidad para la fabricación de cerveza. Un gran número de variedades posee excelentes propiedades tecnológicas.

Pero también en las cebadas de invierno han sido desarrolladas progresivamente variedades de cebada de dos hileras, que se acercan en su calidad a la de las cebadas de verano de dos hileras [86]. Por eso es muy promisorio el cultivo de la cebada de invierno con calidad de cebada cervecera, porque se puede llegar más fácilmente a una malta más económica con la combinación de alto rendimiento con buena calidad.

Para obtener una buena malta uniforme es necesario que, en lo posible, todos los granos de la partida sean de la misma variedad. Consecuentemente, deben cultivarse variedades puras en hojas grandes, en lo posible. Sólo así puede aprovecharse completamente la ventaja del cultivo de variedades puras. En el cultivo de variedades se da gran importancia a los aspectos cualitativos:

- resistencia a enfermedades y parásitos,
- buena estabilidad,
- elevada capacidad de aprovechamiento de nutrientes,
- alto rendimiento en granos,
- buena forma y distribución de los granos,
- buena capacidad de absorción de agua y reducida sensibilidad al agua,
- bajo contenido de albúminas,
- alto poder germinativo en el momento de maduración de malteado,
- buena capacidad de formación de enzimas,
- buen poder disolvente,
- elevado rendimiento en extractos en el malteado.

1.1.2 Cultivo de la cebada

La zona de cultivo más desarrollada de cebada cervecera es Europa Central, donde el cultivo de cebada es realizado de forma sistemática desde hace 150 años. Aquí han alcanzado gran importancia económica, como cebadas de calidad, sobre todo las cebadas de verano de dos hileras. Pero también se avanza en el cultivo de cebadas cerveceras de invierno. En 2002 se cosecharon en Alemania 2,7 millones de toneladas de cebadas de verano. De éstas, 2,1 millones de toneladas provienen de variedades de cebada cervecera, sobre todo de las cuatro variedades principales: Scarlett, Barke, Pasadena y Annabell [215]. Estas variedades también son cultivadas en los países vecinos.

Otras variedades importantes son: la Optic, cultivada en muchos países; las danesas Lux y Alliot; las británicas Chariot, Riviera, Prisma; como también las variedades Astoria, Nevada y Aspen, cultivadas en Francia. En las cebadas de invierno se prefieren actualmente en especial las variedades Vanessa, Tiffany y Regina. Sin embargo, el cultivo de cebada cervecera es perfeccionado de forma permanente, de manera que continuamente pasan a primer plano variedades nuevas con propiedades mejoradas.

Las principales zonas para el cultivo de cebada son las de clima moderado del Hemisferio Norte, prioritariamente en Europa y Cercano Oriente, Canadá y EE.UU., como también Australia, Argentina y Uruguay. De la producción de cebada de aproximadamente 130 millones de toneladas (2002), corresponden a los países de la Unión Europea 48 millones de toneladas y a Europa Oriental y Central 35 millones de toneladas. Con ello se produce en esa región aproximadamente el 70% de la cebada.

En Norteamérica se cultiva la cebada cervecera especialmente en Canadá, con una producción anual de 13 a 14 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente 11,5 millones de toneladas son para uso doméstico. Debido a la ubicación geográfica y el corto período de vegetación, se cultivan allí cebadas de verano en Alberta (53%), Saskatchewan (35%) y Manitoba (12%). Canadá vende por año más de 1 millón de toneladas de cebada cervecera de dos hileras y 0,4 millón de toneladas de cebada cervecera de seis hileras.

Los EE.UU. tienen una relación bastante equilibrada entre la producción de cebada cervecera y el requerimiento para maltear. De los aproximadamente 10 millones de toneladas se cultiva cerca del 35% en la región centrooccidental con Minnesota, Dakota del Norte y Dakota del Sur; de éstas aproximadamente el 80% son variedades de cebada cervecera (Robust 58%, Excel, Morex, Azura). En la región occidental (Montana, Idaho, Wyoming, Colorado) solamente el 30% es cebada cervecera, siendo cultivadas predominantemente cebadas de dos hileras.

Pero en los EE.UU. dominan, en las cebadas cerveceras, las cebadas de verano de seis hileras, en las cuales también en los cultivos se ven progresos frente a las cebadas de dos hileras.

Las zonas de cultivo más importantes del Hemisferio Sur se encuentran en Australia, que, con una producción total de cebada de 6 a 7 millones de toneladas, puede mostrar un importante elemento de exportación. Las regiones de cultivo se encuentran allí principalmente en las zonas cercanas a la costa de Australia Occidental y del Sur, y detrás de las cadenas montañosas de las zonas subtropicales.

La producción mundial de cerveza fue en 2001 de 1400 millones de hl. Para ello se requieren aproximadamente 15,4 millones de toneladas de malta. Para la fabricación de whisky se necesitan aproximadamente 1 millón de toneladas de malta y para alimentación humana solamente 0,5 millón de toneladas. Ello suma un requerimiento mundial de 21 millones de toneladas de cebada cervecera, con tendencia creciente, dado que la producción mundial de cerveza se incrementa anualmente en 1% a 1,5% en el ámbito mundial.

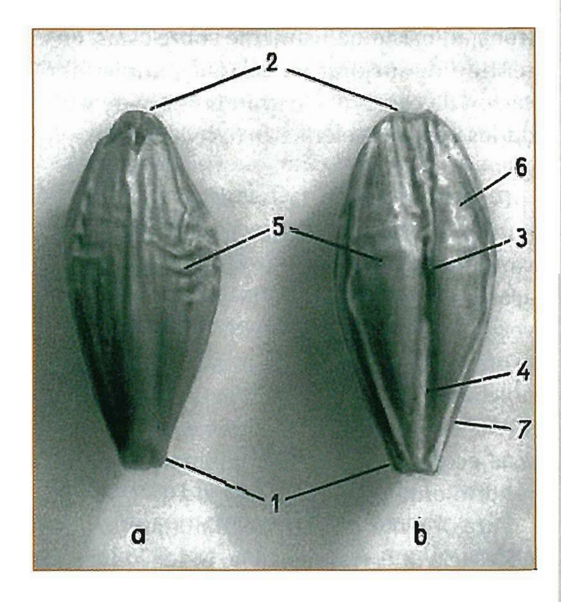


Figura 1.2
Grano de cebada
a) lado dorsal, b) lado ventral,
(1) base, (2) punta, (3) surco ventral, (4) vello de raquilla, (5) arrugamiento, (6) gluma ventral (pálea), (7) gluma dorsal (lemma)

1.1.3 Estructura del grano de cebada

De la estructura del grano de cebada pueden sacarse conclusiones respecto del valor y los requisitos de procesamiento de la cebada. Debemos diferenciar en esto entre la estructura exterior y la interior.

1.1.3.1 Estructura exterior

La Figura 1.2 muestra bajo a) el lado dorsal del grano con la lemma o chala dorsal (7), la cual, en nuestra cebada de cultivo, es prolongada en la espiga por una barba larga, que es quebrada durante la trilla. El control de calidad de la finura de la cáscara es realizado en la lemma, debido a un arrugamiento más fuerte hacia la punta (5), lo cual permite sacar conclusiones respecto del espesor de la cáscara. En el lado ventral b) se encuentra la cáscara ventral o pálea. Al comienzo del surco ventral (3) se encuentra el vello de raquilla (4), el resto de una florecilla infecunda, que permite ciertas informaciones para la identificación de variedad.

Las cebadas utilizadas en la industria cervecera son siempre del tipo glumáceo. Es decir, que las cáscaras (glumas) ventral y dorsa están tan íntimamente ligadas con el pericarpio y la testa del grano que quedan en él después de la trilla. Esto contrasta con el trigo, en el cual ambas cáscaras se desprenden en la trilla, dejando el fruto desnudo. Existen también variedades de cebada en las cuales sucede esto (cebadas desnudas). Pero éstas no son utilizadas en Alemania para la fabricación de cerveza.

La base del grano es más puntiaguda que la punta del mismo. Esto es entendible, si se considera que la barba es desprendida por golpe durante la trilla. Si el ajuste de la desbarbadora es demasiado cerrado, el desprendimiento por golpe puede terminar dañando los granos. Por el contrario, la zona donde el grano se desprende del raquis de la espiga es siempre lisa; la forma del lugar de fractura (derecha o sesgada) le permite al cultivador de cebada sacar conclusiones respecto de la variedad.

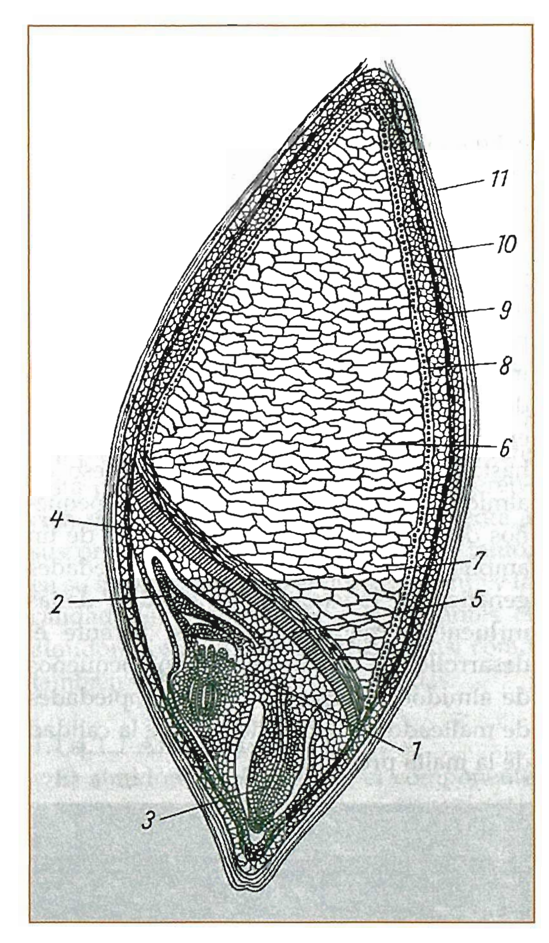


Figura 1.3 Grano de cebada (sección longitudinal) (1) plúmula, (2) acrospira rudimentaria, (3) raicillas, (4) escutelo, (5) capa epitelial, (6) endospermo, (7) células vacías, (8) capa de aleurona, (9) testa, (10) pericarpio, (11) cáscaras

1.1.3.2 Estructura interna

El grano de cebada (Figura 1.3) se divide en tres partes principales: la región germinal, el endospermo y las cubiertas del grano.

La región germinal contiene el embrión (1) con nudos de crecimiento para la acrospira (2) y las raicillas (3).

Está separada del endospermo por una fina capa de tejido, el escutelo (4) (*scutellum*), y la capa epitelial (5), que es una capa de células de paredes muy finas, con forma de palizada.

El endospermo (6) está compuesto por células estables, que contienen los granos de almidón. Éstos son de tamaño grande y pequeño; los tamaños medianos no existen en el almidón de la cebada (figura 1.3a). Los granos grandes de almidón (tipo A) tienen un diámetro de 20 a 30 µm. Los granos pequeños de almidón (tipo B) tienen un diámetro de 3 a 5 µm y representan el 70 a 95% del número total de granos de almidón en el endospermo, pero contienen solamente del 3 hasta el 10%, como máximo, del peso de almidón [161]. La cantidad de granos pequeños de almidón puede variar dentro de un amplio rango; depende de las propiedades genéticas de la variedad de cebada y de las influencias medioambientales durante el desarrollo del grano. Los granos pequeños de almidón influyen sobre las propiedades de malteado de la cebada y sobre la calidad de la malta producida.



Figura 1.3a
Células de almidón conteniendo granos de almidón
(Foto: VLB Berlin, Forschungsinstitut für Rohstoffe)

Los espacios entre los granos de almidón están medianamente rellenados con una matriz del endospermo, que contiene proteínas; esta porción matricial puede ser muy densa o faltar completamente. Sin embargo, la densidad matricial no permite sacar conclusiones esenciales respecto de la malteabilidad de la cebada.

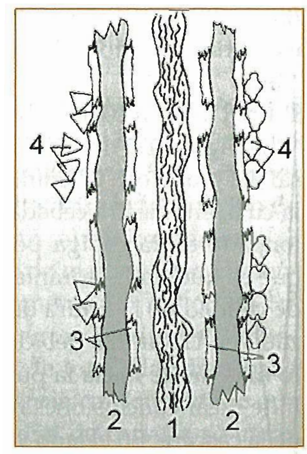


Figura 1.3 b
Estructura de las paredes celulares del almidón (según Bamforth)
(1) laminilla media,
(2) capa de β-glucano,
(3) capa de pentosano,
(4) ácidos orgánicos acumulados

Las paredes celulares del almidón están compuestas, primeramente, por una laminilla media de proteínas, que regulan todo tipo de intercambio de materia entre el interior y el exterior. Esta laminilla media está rodeada a ambos lados por una capa de β-glucano [248, 249]. Ésta, a su vez, está rodeada por una capa muy porosa de pentosano, que contiene diferentes substancias, tales como ácidos orgánicos, ácido acético o ácido ferúlico. En la figura 1.3 b se representan las distancias entre las capas de forma aumentada, a los efectos de facilitar la comprensión; en la realidad, estas capas están ubicadas estrechamente una junto a otra y pegadas entre sí. Se forma así una estructura de pared celular muy fuerte y estable.

El espesor de estas paredes celulares del almidón es una característica que depende mucho de la variedad, pero también de las condiciones de crecimiento. Las cebadas cerveceras tienen, por lo general, paredes celulares más delgadas que las cebadas forrajeras. El espesor de la pared celular es un factor importante para las propiedades de malteado de la cebada, dado que las paredes gruesas

oponen más resistencia a una degradación posterior. Sin embargo, hasta la degradación, impiden cualquier intercambio de substancias y protegen el contenido de la célula. La estabilidad de estas paredes celulares le otorga al grano de cebada una dureza que, en caso de necesidad, sólo puede ser vencida por rotura con mucha fuerza.

El endospermo está rodeado por células ricas en proteínas, la capa de aleurona (8). Esta capa es el punto de partida más importante para la formación de enzimas en el malteado. En la estructura proteica de esta capa también hay acumuladas otras substancias, tales como materias grasas, taninos y colorantes.

Las cubiertas del grano están compuestas por siete capas diferentes, las cuales, sin embargo, pueden dividirse en tres importantes: la cubierta más interna que rodea la capa de aleurona es la cubierta de semilla o testa (9). Ésta envuelve todo el grano y sólo permite el pasaje de agua pura, pero no las sales disueltas en esa agua. Ello es debido a la semipermeabilidad de la testa.

La cubierta que sigue hacia afuera, el pericarpio (10), está íntimamente unida a la cubierta de la semilla. Esta cubierta rodea a la testa y, a su vez, es rodeada por la epidermis, la cual es protegida exteriormente por ambas cáscaras del grano (11).

Las cáscaras están compuestas esencialmente por celulosa; en ellas se encuentran acumuladas pequeñas cantidades de substancias que pueden tener efectos desagradables sobre la calidad de la cerveza, tales como taninos, compuestos amargos y "ácido testínico" (Moufang, 1907).

1.1.4 Composición y propiedades de los componentes

El contenido de agua de la cebada es de 14 a 15%, en promedio. Puede variar entre el 12%, en una cosecha muy seca, y más del 20% para una cosecha húmeda. La cebada húmeda corre riesgos, en lo que respecta a su capacidad de almacenamiento y de germinación, y debe ser secada. La cebada apta para almacenamiento debe tener un contenido de agua menor que el 15%. El contenido restante se denomina materia seca. En promedio, la materia seca de la cebada tiene la siguiente composición:

Hidratos de carbono totales:	70,0 - 85,0%
Proteínas:	10,5 - 11,5%
Substancias minerales:	2,0 - 4,0%
Grasas:	1,5 - 2,0%
Otras substancias:	1,0 - 2,0%

1.1.4.1 Hidratos de carbono

Los hidratos de carbono son el mayor complejo de substancias, desde el punto de vista cuantitativo. Sin embargo, se diferencian de forma importante en lo referente a sus propiedades de materia y, por lo tanto, en su importancia para el procesamiento y la calidad del producto. Son importantes el almidón, los azúcares, la celulosa, así como también la hemicelulosa y las gomas.

1.1.4.1.1 Almidón

El almidón $(C_6H_{10}O_5)n$ es el componente más importante de la cebada con 50 - 63 - 65%. El almidón se forma en el grano de cebada en una maduración lenta, por asimilación y posterior condensación de glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Este almidón es metabolizado como reservorio de energía por parte del embrión en la primera etapa de crecimiento hasta que esté asegurada la producción propia de energía, después de la formación de clorofila y el inicio de la asimilación. El almidón es almacenado como granos de almidón en las células del endospermo.

Los granos de almidón (amiloplastos) contienen hasta 5% de lípidos y 0,5% de substancias albuminoideas y están compuestos por dos estructuras diferentes:

- amilosa, y
- amilopectina.

amilopectina	amilosa
como sustancia de cubierta (en aproximadamente 75 a 80%); insoluble en agua, forma engrudo a temperaturas mayores.	como material interior (en aproximadamente 20 a 25%); soluble en agua caliente, no forma engrudo.

La amilosa y la amilopectina están formadas a partir de residuos de a glucosa. Sin embargo, se diferencian notablemente en su estructura y, por tanto, en su capacidad de degradación durante el malteado y la maceración:

Amilosa
La amilosa está compuesta por 200 a 400 residuos de a glucosa, los cuales están unidos en una cadena helicoidal sin ramificaciones, por puentes de oxígeno, en las posiciones 1,4 (Figuras 1.4 y 1.4a).

Amilopectina
La amilopectina está compuesta por residuos de a glucosa, que están unidos en las posiciones 1,4 por puentes de oxígeno. Sin embargo, en intervalos de 15 a 30 unidades de glucosa hay aparte un enlace 1,6 (Figura 1.5), de manera tal que las moléculas de amilopectina son comparables en su aspecto a un árbol ramificado, el cual puede contener hasta 6000 residuos de glucosa.

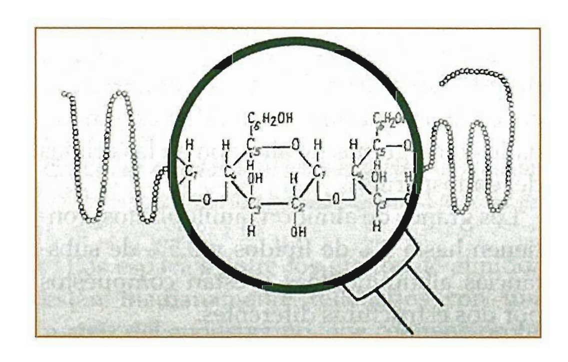


Figura 1.4: Estructura de la amilosa

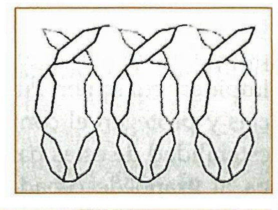


Figura 1.4a
Cadena helicoidal de amilosa

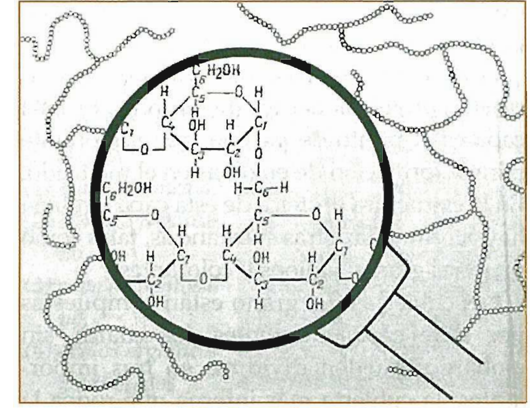


Figura 1.5
Estructura de la amilopectina

1.1.4.1.2 Azúcar

Con 1,8 a 2,0%, el contenido de azúcar en la cebada es muy bajo. El azúcar es el único producto transportable de metabolismo para el embrión. Dado que el grano se encuentra en la cosecha en posición de reposo, sólo hay presentes pocos productos catabólicos, principalmente sacarosa, algo de glucosa y fructosa.

1.1.4.1.3 Celulosa

El 5 a 6% de celulosa se encuentra exclusivamente en la cáscara y actúa como substancia estructural.

La celulosa está formada por largas cadenas, sin ramificaciones, de residuos de β-glucosa en enlace 1,4. Sin embargo, la celulosa es insoluble y no es degradable por las enzimas de la malta. Por ello, la celulosa carece de influencia sobre la calidad de la cerveza.

Los enlaces 1,4 (también 1,6 ó 1,3) mencionados repetidamente se refieren al enlace de

los átomos de carbono entre las moléculas de glucosa. Para ello, se agrega una cifra a los átomos de carbono en las fórmulas estructurales mostradas. Debe tenerse en cuenta que las estructuras están, en la realidad, ordenadas espacialmente y los enlaces están ordenados de manera diferente, con ángulos dados de forma natural.

Las denominaciones a y b se refieren a las diferentes posiciones de los grupos H y OH en el átomo C1, respectivamente. Los enlaces α y β se comportan de forma totalmente diferente (amilosa - enlace α; celulosa - enlace β).

1.1.4.1.4 Hemicelulosa

Las hemicelulosas son los componentes principales de las paredes celulares en el endospermo. Están compuestas por β-glucanos y pentosanos, los cuales forman de manera conjunta la estructura celular rígida de las paredes celulares en el endospermo. Los β-glucanos y los pentosanos tienen una estructura diferente y una influencia muy diversa sobre la fabricación de cerveza y la calidad, de manera que en lo sucesivo deben ser considerados separadamente.

Las hemicelulosas están compuestas en

un 80 a 90%	por β-glucano, y
un 10 a 20%	por pentosano.

▸ *β-glucano*

Bajo la denominación β-glucano se entienden largas cadenas de moléculas de glucosa, que se encuentran unidas entre sí en enlaces 1,3 y, más a menudo en enlaces β 1,4. El β-glucano está contenido en la cebada con 4 a 7% y está reticulado de forma compacta en las paredes celulares del endospermo con substancias albuminoideas de mayor peso molecular y con pentosanos (ver Figura 1.3 b). Cuando el β-glucano entra en solución, se condensan las moléculas formando puentes de hidrógeno y forman asociaciones, que son filamentos finos formados por micelas, dispuestos de forma antiparalela [216] (Figura 1.5a).

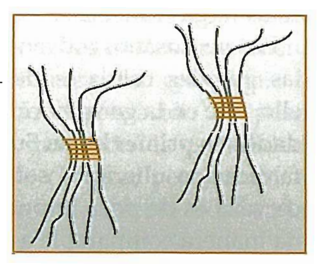


Figura 1.5a Asociación de moléculas de β-glucano (filamentos finos formados por micelas, dispuestos de forma antiparalela)

La degradación de los β-glucanos en el malteado es de extrema importancia. Una degradación insuficiente de los β-glucanos puede hacerse notar de forma negativa hasta alcanzar el producto final, la cerveza terminada.

β-glucan

Pentosan

▶ *Pentosanos*

Los pentosanos están compuestos por las pentosas xilosa y arabinosa. Los pentosanos contienen principalmente largas cadenas de residuos de 1,4-D-xilosa. En algunas posiciones, hay residuos de arabinosa unidos a estas largas cadenas.

Los pentosanos rodean a los β-glucanos de las paredes celulares del almidón. Es por ello, que en la germinación deben ser degradados en primer lugar. Su influencia sobre la fabricación ulterior y sobre la calidad de la cerveza es de poca importancia y de ninguna manera comparable a la del β-glucano.

1.1.4.2 Substancias albuminoideas (proteínas)

El contenido de proteínas en la cebada puede variar entre 8 a 11 a 16%. Aproximadamente el 30% de las proteínas están depositadas, como proteínas de transporte (ver Figura 1.23 b), en las paredes celulares del endospermo (ver Sección. 1.1.3.2) y regulan el metabolismo. De estas substancias albuminoideas, sólo aproximadamente un tercio llega a la cerveza terminada. Si bien la cantidad de substancias albuminoideas en la cerveza es relativamente reducida, puede tener una influencia notable sobre la calidad.

Así, las substancias albuminoideas ayudan notablemente a la estabilidad de la espuma. Por otro lado, pueden también estar implicadas de forma predominante en la formación de turbiedades en la cerveza. El contenido de extracto en la malta se reduce en casi la misma cantidad (0,7 bis 1%) como crece el contenido de proteínas en la cebada. Por ello, las exigencias comerciales usuales son de un máximo de 11,5% de proteínas en la materia seca.

Los elementos constituyentes de las substancias albuminoideas son los aminoácidos. Las substancias albuminoideas están formadas por 20 aminoácidos diferentes, los cuales son ordenados por el organismo en una secuencia exactamente definida. De ello resulta una diversidad impresionante de posibilidades.

Debido a su comportamiento en el proceso de elaboración de cerveza, las substancias albuminoideas de la cebada son divididas en dos grandes grupos:

las proteínas y sus productos proteolíticos, en los cuales pueden ser degradados.

1.1.4.2.1 Proteínas

Se denomina proteínas a las substancias albuminoideas de mayor y alto peso molecular con una masa molecular relativa de hasta varios millones, las cuales son insolubles en agua o precipitan en la cocción. Usualmente, el tamaño de molécula se expresa también en kDa (kilo Dalton), donde 1 Dalton (Da) es la masa de un protón. Con esto, la masa molecular y el Dalton tienen el mismo valor (masa molecular 10.000 = 10 kDa).

Dado que el mosto es cocido en la sala de cocción (ver Sección. 3.4), las proteínas insolubles en calor no llegan a la cerveza termi-

nada. La mayor parte de las substancias albuminoideas de la cebada está compuesta por proteínas (aproximadamente 92%). De acuerdo con su solubilidad, las proteínas se dividen, según Osborne, en diferentes grupos, de los cuales la cebada contiene los siguientes:

- *Glutelinas*

  La proteína de la cebada está compuesta por aproximadamente 30% de glutelina, la cual se disuelve únicamente en álcalis diluidos. Esta proteína está localizada casi exclusivamente en la capa de aleurona, no es degradada posteriormente y pasa sin modificaciones a las heces de la cebada.

- *Prolaminas*

  La prolamina de la cebada se llama hordeína e integra aproximadamente el 37 % de la proteína de cebada; se disuelve en alcohol al 80% y llega en parte a las heces de la cebada.

- *Globulinas*

  La globulina de la cebada se llama edestina. Se disuelve en soluciones salinas diluidas; es decir, también en la maceración. Integra aproximadamente el 15% de la proteína de cebada. La edestina está compuesta por cuatro componentes (α, β, γ, δ), de los cuales la β-globulina sulfurosa no precipita nunca completamente, aun en cocción prolongada, y puede causar turbiedades en la cerveza.

- *Albúminas*

  La albúmina de la cebada se llama leucosina. Se disuelve en agua pura e integra aproximadamente el 11% de la proteína de la cebada. Precipita completamente en la cocción.

Junto a estas proteínas, existen en la cebada proteídos, como las glucoproteínas, las cuales representan un enlace de proteínas con un hidrato de carbono, por ejemplo glucosa, manosa o galactosa.

La cantidad de proteínas se reduce en el malteado y en la fabricación de cerveza, dado que son degradadas por medios enzimáticos parcialmente en productos proteolíticos.

1.1.4.2.2 Productos proteolíticos (productos de degradación de proteínas)

Los productos proteolíticos se caracterizan por ser siempre solubles en agua y por no precipitar durante la cocción. La cerveza terminada contiene casi únicamente productos proteolíticos.

La menor parte de las substancias albuminoideas de la cebada son productos de degradación (aproximadamente 8%). Su porción crece en el malteado y en la fabricación de cerveza. Se diferencia en los productos proteolíticos:

Los productos de degradación de peso molecular más alto están compuestos por los productos de degradación complejos de las proteínas, las proteosas, que son nombradas según las proteínas de las cuales provienen, y las peptonas, de constitución compleja.

Los productos de degradación de peso molecular más alto favorecen la estabilidad de la espuma de la cerveza, pero también tienen participación en las turbiedades en la cerveza.

Los productos de degradación de bajo peso molecular están compuestos por los elementos constituyentes más pequeños de las substancias albuminoideas, los aminoácidos, y los péptidos formados por polimerización.

Dos aminoácidos forman un dipéptido, bajo separación de agua. El enlace - CO-NH - se llama enlace peptídico; el mismo es característico del enlace de la molécula de aminoácido en todas las substancias albuminoideas (ver figura inferior):

Oligopeptide

nada. La mayor parte de las substancias albuminoideas de la cebada está compuesta por proteínas (aproximadamente 92%). De acuerdo con su solubilidad, las proteínas se dividen, según Osborne, en diferentes grupos, de los cuales la cebada contiene los siguientes:

- *Glutelinas*

La proteína de la cebada está compuesta por aproximadamente 30% de glutelina, la cual se disuelve únicamente en álcalis diluidos. Esta proteína está localizada casi exclusivamente en la capa de aleurona, no es degradada posteriormente y pasa sin modificaciones a las heces de la cebada.

- *Prolaminas*

La prolamina de la cebada se llama hordeína e integra aproximadamente el 37 % de la proteína de cebada; se disuelve en alcohol al 80% y llega en parte a las heces de la cebada.

- *Globulinas*

La globulina de la cebada se llama edestina. Se disuelve en soluciones salinas diluidas; es decir, también en la maceración. Integra aproximadamente el 15% de la proteína de cebada. La edestina está compuesta por cuatro componentes (α, β, γ, δ), de los cuales la β-globulina sulfurosa no precipita nunca completamente, aun en cocción prolongada, y puede causar turbiedades en la cerveza.

- *Albúminas*

La albúmina de la cebada se llama leucosina. Se disuelve en agua pura e integra aproximadamente el 11% de la proteína de la cebada. Precipita completamente en la cocción.

Junto a estas proteínas, existen en la cebada proteídos, como las glucoproteínas, las cuales representan un enlace de proteínas con un hidrato de carbono, por ejemplo glucosa, manosa o galactosa.

La cantidad de proteínas se reduce en el malteado y en la fabricación de cerveza, dado que son degradadas por medios enzimáticos parcialmente en productos proteolíticos.

1.1.4.2.2 Productos proteolíticos (productos de degradación de proteínas)

Los productos proteolíticos se caracterizan por ser siempre solubles en agua y por no precipitar durante la cocción. La cerveza terminada contiene casi únicamente productos proteolíticos.

La menor parte de las substancias albuminoideas de la cebada son productos de degradación (aproximadamente 8%). Su porción crece en el malteado y en la fabricación de cerveza. Se diferencia en los productos proteolíticos:

Los productos de degradación de peso molecular más alto están compuestos por los productos de degradación complejos de las proteínas, las proteosas, que son nombradas según las proteínas de las cuales provienen, y las peptonas, de constitución compleja.

Los productos de degradación de peso molecular más alto favorecen la estabilidad de la espuma de la cerveza, pero también tienen participación en las turbiedades en la cerveza.

Los productos de degradación de bajo peso molecular están compuestos por los elementos constituyentes más pequeños de las substancias albuminoideas, los aminoácidos, y los péptidos formados por polimerización.

Dos aminoácidos forman un dipéptido, bajo separación de agua. El enlace - CO-NH - se llama enlace peptídico; el mismo es característico del enlace de la molécula de aminoácido en todas las substancias albuminoideas (ver figura inferior):

Oligopeptide

Se llama oligopéptidos a los compuestos con 3 a 9 aminoácidos. Polipéptidos son aquellos con 10 a 100 aminoácidos:

Los productos de degradación de bajo peso molecular son absolutamente esenciales como nutrientes para la levadura.

Cada proteína es caracterizada
- por la cantidad y tipo de aminoácidos contenidos en ésta,
- por la secuencia de enlace de los aminoácidos, y
- por la estructura espacial, en la que están ordenados los aminoácidos en la molécula de proteína.

En la disposición de la molécula de aminoácido se habla de la

- *estructura primaria*; se debe entender por ello la yuxtaposición de los aminoácidos en la totalidad de la molécula,
- *estructura secundaria*; de forma similar a como los residuos de glucosa forman helicoides en la molécula de amilosa (ver Figura 1.4 a), los residuos de aminoácidos en la proteína también forman helicoides -comparables a un cable telefónico espiralado-, componiendo la estructura secundaria,
- *estructura terciaria*; así como se puede formar un enrollado con un cable telefónico espiralado, las estructuras secundarias forman enrollados con un orden determinado. Se constituyen así enlaces libres entre grupos muy determinados, los cuales definen la estructura terciaria. Esta estructura es mantenida por puentes de hidrógeno y de disulfuro en una constitución determinada. La estabilidad de esta estructura depende de la temperatura y del valor pH y determina la solubilidad, la desnaturalización y finalmente la precipitación de las proteínas bajo condiciones determinadas.
- *Las enzimas* son, por lo general, proteínas con una estructura terciaria tal que una abertura, incisión o surco, en un lugar de aquélla, posibilita un contacto específico con el substrato, según el principio llave/cerrojo. De la estructura terciaria de la proteína se explican también la temperatura óptima y el valor pH óptimo de las enzimas.

Los aminoácidos son los nutrientes más importantes de la levadura para la formación de nuevas substancias celulares. Debido a su tamaño estructural, la levadura solamente puede absorber aminoácidos de forma directa o extraer el grupo amino. Si se unen varios aminoácidos, queda siempre sólo un grupo NH_2 terminal. Los otros no son alcanzables, como grupo NH, por la levadura. El contenido de NH_2, de suma importancia en la nutrición de la levadura, se denomina

- α-aminonitrógeno libre, o
- α-aminonitrógeno.

Las proteínas de peso molecular más alto son estabilizadores esenciales de espuma. Pertenecen a éstas, aparte de los fragmentos de hordeína y glutelina, sobre todo la proteína denominada proteína Z con 40 kDa y, en especial, la proteína de transferencia de lípidos (LTP1), que es una proteína de 10 kDa. Ambas están sujetas a algunas modificaciones durante el proceso de malteado.

1.1.4.3 Grasas (lípidos)

La cebada contiene aproximadamente 2% de grasa. Esta grasa de cebada está depositada en especial en la capa de aleurona y en el embrión. La capa de aleurona y la cáscara contienen nueve veces la cantidad de grasa que hay contenida en el embrión.

Los componentes principales de las grasas (lípidos) son los ácidos grasos. Como ácidos grasos se entienden compuestos de hidrocarburos con un grupo COOH+ terminal, a través del cual es definido el ácido (débil):

Se diferencian aquí
- ácidos grasos de cadena corta -pertenece a éstos, por ejemplo, el ácido acético CH_3COOH-

- ácidos grasos de cadena media con 5 a 14 átomos de carbono, y
- ácidos grasos de cadena larga con 16 a 18 átomos de carbono.

En el curso de las próximas etapas de proceso nos encontraremos a menudo con estos ácidos grasos, debiéndose tener en cuenta que sobre todo los ácidos grasos no saturados han alcanzado una importancia especial. Los ácidos grasos no saturados son aquellos que tienen uno o varios enlaces dobles entre dos determinados átomos de carbono (Figura 1.5b):

Los ácidos grasos no saturados no sólo tienen una gran importancia para nuestra alimentación, máxime cuando algunos no pueden ser sintetizados por el organismo humano (ácidos grasos esenciales). También en la fabricación de cerveza tienen una importancia notable: así, los ácidos grasos son necesarios para la constitución de la pared celular de la levadura (ver Sección 1.4.1); pero sus derivados son también responsables de los procesos, posteriores al envasado, de envejecimiento del sabor de la cerveza. Por eso, durante los siguientes procesos tecnológicos se prestará atención a la modificación de las existencias de ácidos grasos no saturados y sus productos de disociación (derivados).

Los ácidos grasos no saturados son muy reactivos. Las reacciones pueden ser causadas por la enzima lipooxygenasa o de forma no enzimática, por autooxidación. Los ácidos grasos de cadena media se forman especialmente en la fermentación principal y son excretados, de manera progresiva durante la maduración de la cerveza, por la levadura. Tienen un efecto particularmente negativo sobre la espuma.

Nombre	cantidad de átomos de carbono : cantidad de enlaces dobles; posición de los enlaces dobles	
ácido fórmico	1: 0	no contenido en lípidos
ácido acético	2: 0	no contenido en lípidos
ácido propiónico	3: 0	no contenido en lípidos
ácido butírico	4: 0	
ácido valérico	5: 0	
ácido caproico	6: 0	HOOH - CH_2 - CH_2 - Ch_2 - Ch_2 - CH_3
ácido caprílico	8: 0	
ácido cáprico	10: 0	
ácido láurico	12: 0	
ácido mirístico	14: 0	
ácido palmitico	16: 0	
ácido esteárico	18: 0	
ácido oleico	18: 1;9	
ácido linólico	18: 2;9,12	
ácido linolénico	18: 3;9,12,15	
ácido aráquico	20: 0	
ácido araquidónico	20: 4;5, 8,11,14	

Figura 1.5b
Resumen sobre los ácidos grasos más importantes

Círculo: el grupo COOH,

Codo: un grupo CH_2, respectivamente CH en el caso de ácidos grasos no saturados, y final de cadena: grupo CH_3

Los lípidos (grasas) son los ésteres de los ácidos grasos con glicerina (glicerol). Los ésteres son compuestos de ácidos con un alcohol. La glicerina es un alcohol propílico trivalente (propanol).

Los ácidos grasos reaccionan con glicerina, bajo separación en agua, de la siguiente manera:

Residuo de ácido graso- COO–H + OH–C–H_2
Residuo de ácido graso- COO–H + OH–C–H
Residuo de ácido graso- COO–H + OH–C–H_2
Se forma un lípido (grasa, aceite).

En el enranciamiento, los componentes se separan nuevamente bajo agua.

1.1.4.4 Substancias minerales

El contenido de substancias minerales en la cebada es de 2 a 3%. La mayor parte de las substancias minerales está presente en compuestos anorgánicos, siendo aquí substancias minerales importantes:

los fosfatos, aproximadamente 35% (expresado como óxido de fósforo (V) P_2O_5),

los silicatos, aproximadamente 25% (expresado como dióxido de silicio SiO_2),

las sales de potasio, aproximadamente 20% (expresado como óxido de potasio K_2O).

Los fosfatos no sólo constituyen los componentes principales de las substancias minerales y sus compuestos, sino que son de importancia debido a su existencia en los principales compuestos orgánicos del grano de cebada (por ejemplo en la fitina, en los ácidos nucleicos, en las coenzimas, en las substancias albuminoideas, etc.). De estos compuestos se libera el fosfato en las transformaciones que ocurren en la maltería y en la fábrica de cerveza.

La presencia de fosfatos es de gran importancia para muchos procesos. Así, por ejemplo, no puede tener lugar ninguna fermentación alcohólica sin fosfatos, porque los procesos que tienen lugar en la fermentación están ligados químicamente al ácido fosfórico.

Los silicatos se encuentran muy abundantemente en la cáscara, pero también en el almidón. Son solubles de forma coloidal y detectables en cualquier turbiedad de cerveza.

Hay una serie de sales, las cuales tienen importancia para la fabricación de cerveza como oligoelementos, por ejemplo las sales de cinc para la fermentación. La mayoría de las sales en la cerveza provienen de la cebada. Una cerveza (12%) fabricada con agua promedio contiene aproximadamente 1600 mg/l de substancias minerales y sus óxidos. De éstos, 400 mg de substancias minerales corresponden al agua para cerveza y aproximadamente 1200 mg a substancias minerales provenientes de la malta (debe tenerse en cuenta que todos los carbonatos provienen del agua).

1.1.4.5 Otras substancias

La cebada contiene también una serie de substancias que tienen influencia sobre la calidad de la cerveza y sobre su fabricación, si bien se encuentran en cantidad reducida. Se trata aquí de taninos y compuestos amargos, vitaminas y enzimas.

1.1.4.5.1 Taninos o polifenoles

Hay taninos depositados en la cáscara de la cebada y también en la capa de aleurona. En cantidades mayores se caracterizan por un sabor desagradablemente áspero y amargo. Por lo general, su cantidad aumenta con el espesor de la cáscara. Por eso se prefieren cebadas con cáscara delgada, finamente arrugada o se trata, en el caso de cebadas de cáscara gruesa, de extraer ya en la maltería una parte importante de estas substancias. Lo mismo vale para las resinas amargas depositadas.

En los polifenoles, se trata en especial de las antocianidinas y sus etapas anteriores. Las antocianidinas son siempre substancias amargas colorantes y aromáticas, que se encuentran en muchos frutos y que pueden cambiar su color, de acuerdo con el valor pH.

Estos compuestos se pueden unir en la cerveza con substancias albuminoideas de

alto peso molecular y pueden causar turbiedades por precipitación, las cuales reducen el valor útil de la cerveza o la convierten en totalmente inservible.

A los efectos de impedir este tipo de turbiedades, se deben extraer estos polifenoles antes del envasado.

1.1.4.5.2 Vitaminas

Las vitaminas son componentes nutritivos que únicamente pueden ser producidos por las plantas, pero no por el hombre. El cuerpo humano las requiere para el mantenimiento de numerosos procesos metabólicos. El aporte suficiente de vitaminas es de vital importancia para el organismo humano. Una deficiencia en vitaminas puede causar enfermedades.

La cebada contiene principalmente las siguientes vitaminas:

- vitamina B1 (tiamina) - depositada principalmente en las partes exteriores del grano,
- vitamina B2 (riboflavina),
- vitamina C (ácido ascórbico) en pequeña cantidad,
- vitamina E (tocoferol) en la grasa del embrión.

Las vitaminas son compuestos estructurados de forma complicada. Son deterioradas progresivamente durante el almacenamiento y el procesado.

1.1.4.5.3 Enzimas de la cebada

Las enzimas son componentes de todos los organismos vivientes. También la cebada y la levadura contienen un vasto rango de enzimas. Las numerosas transformaciones que ocurren durante el malteado y la fabricación de cerveza tienen lugar exclusivamente por el efecto de las enzimas. Por ello, es necesario detallar aquí algunos conceptos básicos sobre las enzimas, su estructura y su forma de trabajo.

Las enzimas son substancias albuminoideas de alto peso molecular, las cuales, actuando como biocatalizadores, posibilitan o aceleran notablemente determinadas reacciones. Tienen efecto ya en pequeñas concentraciones y determinan la dirección y la velocidad de las transformaciones bioquímicas.

El nombre de la enzima se forma a partir del nombre del substrato a ser degradado, agregándosele la terminación "asa". De acuerdo con esto, la enzima que degrada la sacarosa se llama sacarasa. La cebada contiene ya una serie de enzimas, muchas de las cuales se encuentran, sin embargo, en cantidades reducidas. La mayoría de las enzimas se forman recién durante la germinación en el malteado.

▶ *Estructura de las enzimas*

Los componentes de las enzimas son los aminoácidos, que están unidos entre sí en el enlace peptídico –CO–NH–. En las enzimas, las cadenas de péptidos tampoco están ordenadas en un plano, sino que constituyen una estructura helicoidal, que se forma por diferentes tipos de puentes. Estas espirales están diversamente dobladas y enrolladas por otro tipo de enlaces. Esta estructura espiralada, doblada y enrollada es preprogramada de forma precisa por el organismo que la forma, y es de importancia esencial para el mecanismo de acción de la enzima.

Las enzimas están compuestas en todos los casos conocidos por enrollados intrincados de proteínas, los cuales muestran una especie de bolsillo, hendidura o surco típicos para éstas, en los que el substrato encaja de forma precisa (función llave/cerrojo).

▶ *Mecanismo de acción de las enzimas*

En el bolsillo, hendidura o surco típicos de la enzima (Figura 1.6), el cual se forma dentro del enrollado de la molécula, se encuentra el centro activo (2) de la enzima, el cual está compuesto por aminoácidos y otros grupos activos, ordenados de determinada

manera. Este centro activo ejerce una fuerza de atracción sobre el substrato (a). Cuando el substrato se encuentra en el bolsillo de la enzima, los aminoácidos y otros grupos activos de la enzima se unen al substrato. Estos enlaces son de naturaleza electrónica o química. Como resultado, se modifica el ordenamiento espacial de los aminoácidos; el substrato se encuentra en una especie de trampa (b) [19, 20]. Luego de la disociación (c), los aminoácidos del centro activo retornan a su posición original, el producto sale por difusión de la enzima (d), y la enzima está preparada para el próximo proceso de disociación (a).

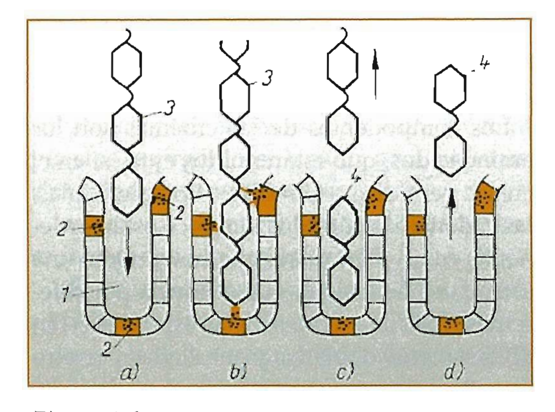
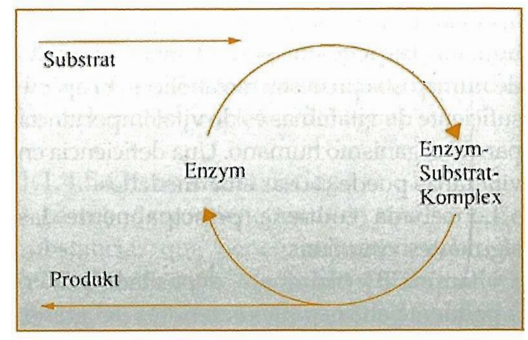


Figura 1.6
Mecanismo de acción de la enzima (el ejemplo de principio de acción muestra la β-amilasa)
(1) bolsillo de la enzima, (2) centro activo, (3) substrato, (4) producto,
a) inserción del substrato,
b) unión al centro activo,
c) los aminoácidos retornan a su posición original,
d) el producto sale del bolsillo de la enzima

Como consecuencia de la conformación típica del bolsillo y del ordenamiento del centro activo, cada enzima puede reaccionar únicamente con un substrato muy específico. De ello resulta la alta especificidad de todas las enzimas respecto de los substratos. El mecanismo de reacción de las enzimas puede ser representado entonces por el ciclo catalítico de reacción mostrado en la figura 1.7.

En muchas enzimas, el efecto catalítico está ligado al acceso de un grupo prostético (coenzima). Para la función de algunas enzimas son importantes a menudo también iones metálicos bivalentes, como por ejemplo hierro, magnesio, calcio, etc. Estos metales son ligados en la enzima.

Figura 1.7



Ciclo catalítico de reacción de una enzima

▶ *Causas de aceleración de reacción por enzimas*

En el desarrollo de reacciones químicas, en especial la degradación de compuestos ricos en energía, se debe sobrepasar un umbral de energía, para que la energía pueda ser liberada.

Por ejemplo, si celulosa (madera) rica en energía es oxidada (quemada) a dióxido de carbono y agua sin energía, se libera energía (calor). Sin embargo, este proceso (exotérmico) no tiene lugar por sí solo, sino que requiere de un inicio (endotérmico) de manera tal de sobrepasar el umbral de energía a través del suministro de calor (encendido). Esto es importante para todos los procesos en la naturaleza. Dado que si no existieran umbrales de energía, todas las substancias se encontrarían muy rápidamente en estado de equilibrio. No habría diferencias de energía y la

vida ya no sería posible.

Si se debe pasar un substrato, que contiene una determinada cantidad de energía (Figura 1.8), de un estado rico en energía (A) al estado más pobre en energía (C), entonces el substrato debe ser llevado primero al estado activado (B), por medio de un suministro de energía. La energía necesaria para ello se denomina energía de activación (E). Recién después de sobrepasar ese umbral de energía se podrá utilizar la diferencia de energía hasta el estado (C) [21].

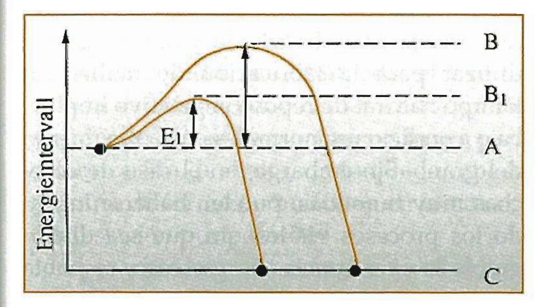


Figura 1.8
Disminución de la energía de activación, por una enzima (efecto catalítico)

▶ *En presencia de una enzima (catalizador) se reduce la energía de activación.*

Ello significa que el umbral de energía es notablemente más bajo (B1) y que, por ello, se requiere notablemente menos energía de activación (E1). De ello resulta la mucha mayor velocidad de reacción de los procesos en la degradación catalizada por enzimas. En la cebada en reposo sólo hay pocas enzimas que, por lo general, están unidas de forma insoluble. La mayoría de las enzimas se forman o son liberadas en la germinación de la cebada.

Estas enzimas son necesarias para pasar las substancias insolubles depositadas en el endospermo a la forma soluble. Ello es a los efectos de poder suministrar estas últimas al embrión, para la síntesis de nuevas substancias celulares o como fuente de energía.

Por eso, la formación de enzimas en la germinación es para nosotros uno de los principales requisitos del malteado, dado que posteriormente una parte importante de estas enzimas es absolutamente necesaria para los procesos de degradación durante la maceración en la sala de cocción.

1.1.5 Evaluación de la cebada

La calidad de la cebada ofrecida o suministrada influye de manera decisiva sobre la calidad de la malta y de la cerveza fabricada a partir de ésta. Por ello, la evaluación de la cebada es muy importante para el maltero.

La evaluación de la cebada se realiza

- por control de calidad manual
- por ensayos técnico/químicos.

La evaluación se realiza durante la oferta y por toma de muestras en determinadas posiciones en la recepción de la mercadería (control de concordancia).

Cuanto mayor es la partida de cebada, tanto más grandes pueden ser las variaciones en la composición de la partida. Para tener un cuadro preciso de la composición promedio, es necesario tomar en lo posible muchas muestras en diferentes posiciones y mezclarlas.

1.1.5.1 Control de calidad manual

La cebada es seleccionada principalmente según la variedad y las zonas de cultivo. Aparte de los métodos rápidos aplicados en la recepción de la cebada y que son usuales hoy en día, es importante el control de calidad manual, es decir la evaluación de la cebada según criterios externos. Se evalúa con ello:

- *Olor*

Debe ser limpio, fresco y pajoso. Un olor insulso, a humedad, mohoso, indica una cebada que puede haber sufrido debido a un almacenamiento húmedo e inadecuado. Se puede esperar entonces de ésta una capacidad reducida de germinación y dificultades en el procesamiento.

- *Humedad*

La cebada debe sentirse seca y debe tener una buena capacidad de corrimiento. Si los granos quedan pegados en la mano, esto indica un elevado contenido de agua.

- *Color y brillo*

El aspecto de la cebada debe ser de un color amarillo claro como la paja. Debe brillar y tener una apariencia uniforme. Los granos verdosos indican una cosecha demasiado temprana. Las cebadas que sufrieron daños por lluvia tienen un aspecto gris y mate. Las puntas marrones pueden ser una característica de variedad, pero por lo general son causadas por cosechas húmedas, lo cual conduce a granos sensibles al agua.

- *Grano rojo*

Los granos rojos (endospermo coloreado rojo) indican una infección masiva de fusarium. En esta malta existe un gran peligro de formación de gushing en la cerveza. Las cebadas con porciones de granos rojos no son apropiadas para el malteado.

- *Propiedades de la cáscara*

La cáscara debe estar finamente arrugada. Un arrugamiento fino indica una cáscara delgada. Indica que se trata de una cebada buena, rica en extractos. Los granos que no han madurado lo suficiente poseen a menudo cáscaras gruesas y lisas. Las cáscaras gruesas contienen más taninos y compuestos amargos.

En algunos años ocurre el resquebrajamiento de los granos de cebada durante la época de maduración. Este fenómeno es causado por el cambio entre el calor (radiación solar) y la lluvia en la época de llenado de granos y de maduración. El efecto es incrementado o reducido por propiedades genéticas de la variedad y por las influencias de hongos mohosos, retardantes de la maduración [192]. En esto pueden ocurrir los siguientes efectos [191]:

- agrietamiento de la cáscara; aquí no se cierra completamente la transición de la cáscara ventral a la cáscara dorsal. Sin embargo, las capas que se encuentran debajo de éstas no son deterioradas.
- agrietamiento del grano; aquí se forman grietas en la cáscara y en las capas que se encuentran debajo de ésta, eventualmente hasta el endospermo. El agrietamiento de la cáscara es una manifestación que dificulta notablemente la producción de cebada de calidad.
- La excrecencia tiene lugar cuando la cebada comienza a germinar, bajo humedad extrema, ya en el tallo, y son visibles los brotes. En ese caso, la cebada ya no se puede utilizar para la fabricación de malta. Un tiempo natural de reposo vegetativo impide, bajo condiciones normales, un crecimiento del grano. Sin embargo, en el caso de cosechas muy húmedas, pueden haberse iniciado los procesos vitales, sin que sea distinguible la excrecencia. En ese caso, se habla de excrecencia invisible. El método más seguro para comprobar la excrecencia invisible es la determinación de la actividad esterásica por el método de tinte con fluoresceína dibutirato. Las esterasas son enzimas que forman los enlaces de los ésteres en los lípidos (materias grasas). El inicio de la actividad esterásica es una señal inequívoca del inicio del proceso germinativo.
- Premalting es una definición imprecisa, que esencialmente abarca los conceptos anteriores.

- Grado de impurificación (pureza)

No debería estar conteniendo ningún tipo de cuerpos extraños, tales como semillas de maleza, arena, piedras, cuerdas, paja, espigas, barbas, partes metálicas, granos partidos, cornezuelos de centeno, cereales extraños.

- Granos lastimados (integridad)

Los granos lastimados causan dificultades tecnológicas y biológicas en el procesamiento y deben ser separados. Las lastimaduras

son causadas principalmente durante la trilla y por plagas animales.

- Forma y tamaño de los granos

Los granos deben ser grandes, llenos y redondos; tales granos de cebada son, por lo general, más ricos en extractos y más pobres en proteínas que los granos delgados y largos. Sin embargo, la forma del grano depende primariamente de la variedad.

- Uniformidad

Se desea una cebada uniforme con una elevada porción de cebada de granos bien llenos.

- Aspecto de la plántula (excrecencia)

En una cosecha muy húmeda, el lote de cebada ya puede estar conteniendo granos germinados; lotes de este tipo no sirven para la fabricación de malta, dado que la cebada germina de forma no uniforme en ese caso.

- Infestación por parásitos

El parásito de grano más común es el gorgojo de los cereales. Los granos atacados por el gorgojo de cereales muestran claramente las partes mordidas y flotan hacia arriba en el remojo. La cebada así dañada no es utilizable para la fabricación de malta.

1.1.5.2 Exámenes mecánicos y químicos

1.1.5.2.1 Clasificación

La clasificación es el examen mecánico más importante de la cebada y es realizable de forma rápida y sencilla. La cebada es separada en cuatro componentes, por medio de tamices vibrantes de 2,8 mm, 2,5 mm y 2,2 mm:

Todo lo que queda retenido en el tamiz I (2,8 mm) y el tamiz II (2,5 mm), es grado I (cebada de granos bien llenos).

Todo lo que pasa a través de los tamices I y II, pero queda retenido en el tamiz III, es grado II.

Todo lo que pasa a través de todos los tamices es borra y se revende como cebada forrajera.

Dado que siempre se examinan 100 g de cebada, los gramos equivalen a los porcentajes. Ejemplo:

tamiz I	42,5 g		grado I
tamiz II	46,0 g	88,5%	(porción de cebada de granos bien llenos)
tamiz III	10,5 g	10,5%	grado II
base	1,0 g	1,0%	borra
	100,0 g	=100,0%	

Valores normales para la porción de cebada de granos bien llenos:

cebada para cerveza (constitución promedio)	mínimo 85%
cebada fina para cerveza	mínimo 90%
cebada premium	mínimo 95%

Valores normales para borra

cebada limpiada insuficientemente	mayor que 4%
cebada promedio para cerveza	3 a 4%
cebada fina para cerveza	2 a 3%
cebada premium	menor que 2%

1.1.5.2.2 Masa de mil granos

Dado que la masa de mil granos (a veces todavía peso de mil granos) crece al aumentar el contenido de agua, se lo calcula sobre la base de la materia seca. La masa de mil granos puede estar relacionada con el resultado de la clasificación y con el rendimiento de extracto de la cebada. Con el aumento de la masa de mil granos puede crecer la porción porcentual de grado I y, con ello, el contenido de extracto de la cebada. La masa de mil granos es determinada con un dispositivo de conteo y una balanza. Los granos partidos o extraños deben ser separados antes, descontándose su peso.

El cálculo se realiza según la fórmula

$$\text{masa de 1000 granos, secos al aire (g)} = \frac{\text{masa corregida de grano} \times 1000}{\text{cantidad de granos enteros}}$$

masa de 1000 granos, como materia seca (g) =

$$\frac{\text{masa de 1000 granos, secos al aire x (100-W)}}{100}$$

W = contenido de agua de la cebada en %

▶ Ejemplo:

40 g de muestra contienen 1,6 g de granos partidos y extraños y 1048 granos de cebada; el contenido de agua de la cebada es 11,5%.

1048 granos pesan 40,0 - 1,6 = 38,4 g

masa de 1000 granos, secos al aire =

$$\frac{38{,}4 \times 1000}{1048} = 36{,}6 \text{ g}$$

masa de 1000 granos, como materia seca =

$$\frac{36{,}6 \times (100-11{,}5)}{100} = 32{,}4 \text{ g}$$

La masa de mil granos de la cebada es 32,4 g.

Valores normales para masa de mil granos

cebadas secas al aire

37 a 40 g cebada liviana

41 a 44 g cebada semipesada

mayor que 45 g cebada pesada

cebadas libres de agua

valores normales 38 a 40 g

valores límites 30 a 45 g

1.1.5.2.3 Masa hectolítrica

La masa hectolítrica (a veces todavía peso hectolítrico) indica la masa de un hectolitro de cebada. Por lo general, la cebada para cerveza tiene *una masa hectolítrica entre 68 y 75 kg.*

Sin embargo, la capacidad informativa de la masa hectolítrica depende de tantos factores que hoy en día casi no es determinada.

1.1.5.2.4 Friabilidad (estado del endospermo)

Con el examen de friabilidad de la cebada se puede arribar a conclusiones valiosas sobre la capacidad esperable de procesamiento en la maltería y sobre la calidad de la malta que será producida. El examen del endospermo se realiza por corte de muestras, mediante un instrumento para la comprobación de granos vítreos (farinatom) o un dispositivo de corte transversal o longitudinal.

Una buena cebada para cerveza debe tener no menos de 80% de granos harinosos. La vitreosidad de los otros granos puede ser pasajera o permanente. Para realizar la diferenciación, es necesario remojar los granos durante 24 horas, secarlos y cortarlos nuevamente. Una vitreosidad permanente resulta en malteados con características desfavorables de procesamiento.

1.1.5.2.5 Examen químico/técnico

Cada partida de cebada es examinada respecto de sus contenidos de agua y de proteínas; otros exámenes se realizan según necesidad.

▶ *Contenido de agua*

El contenido de agua es determinado según el proceso de secado estándar, en el que se seca cebada triturada a una temperatura exactamente definida en un tiempo preestablecido. Aparte de ello, hay aparatos para la determinación rápida, que posibilitan también un control en la recepción de la partida.

▶ *Contenido de proteínas*

El contenido de proteínas en la cebada tiene una importancia fundamental para la fabricación de malta y de cerveza. Las cebadas ricas en proteínas se procesan de forma más dificultosa y con una mayor merma de malteado. Cada porciento más de proteínas resulta en casi el mismo porcentaje menos de extracto. Es por eso que el contenido de proteínas también tiene una importancia esencial en los contratos de suministro de cebada; el sobrepaso del contenido acordado de proteínas resulta en descuentos del mismo porcentaje.

La determinación del contenido de proteínas se realiza en el laboratorio, según el

método de Kjeldahl o según un método rápido.

- Proteínas

Se determina aquí el contenido de nitrógeno, el cual está contenido en la proteína con 16%, en promedio. Por multiplicación por (100 : 16 =) 6,25 se obtiene el contenido de proteínas buscado.

1.1.5.3 Exámenes fisiológicos

1.1.5.3.1 Poder germinativo

Bajo poder germinativo se entiende el porcentaje de todos los granos vivientes en la muestra, independientemente de que la cebada haya concluido su reposo vegetativo (ver Sección 2.2.5) o no.

El 96 % de los granos, como mínimo, debe ser capaz de germinar.

1.1.5.3.2 Energía de germinación

Bajo energía de germinación se entiende el porcentaje de granos que, al momento del examen, germinan bajo condiciones normales de malteado. La energía de germinación es una medida para el inicio de germinación de los granos después de 3 y 5 días. Una alta energía de germinación indica un buen estado de salud de la cebada y, de esta manera también, que el desarrollo del malteado será exitoso.

Después de 5 días la energía de germinación debe ser para:

cebada promedio para cerveza	mínimo 95%
cebada fina para cerveza	mínimo 98%
cebada premium	mínimo 98%

La energía de germinación después de tres días debe estar lo más cerca posible de la de cinco días.

Aparte de la determinación de la energía de germinación, existe también la determinación rápida de la potencia de germinación, según el método TTC (cloruro trifenil tetrazolium), que es especialmente apropiado para la determinación del poder germinativo antes del primero de octubre del año de cosecha.

1.1.5.3.3 Sensibilidad al agua

Las cebadas difieren en su sensibilidad respecto de la absorción de agua; esto debe ser tenido en cuenta en el trabajo de remojo en la maltería: con creciente sensibilidad, debe restringirse el tiempo de remojo en agua. La sensibilidad al agua se determina por diferencia de la energía de germinación con diferentes cantidades de agua (ensayo de 4 ml menos ensayo de 8 ml).

Las cebadas con una sensibilidad al agua de
hasta 10% son muy poco sensibles al agua
11 a 25% son poco sensibles al agua
26 a 45% son algo sensibles al agua, y
más de 45% son muy sensibles al agua.

1.1.5.3.4 Capacidad de absorción de agua (capacidad de hinchamiento)

Cuanto más enzimáticamente activa es una cebada, tanto mayor es su capacidad de absorción de agua, y tanto mejor es el valor cervecero de la cebada. El examen debe determinar si la cebada es capaz de lograr la mayor absorción posible de agua con un mínimo de tiempo de remojo.

Evaluación de la capacidad de absorción de agua (capacidad de hinchamiento) después de 72 horas de remojo:

menor que 45,0%	insuficiente
45,7 a 47,5%	satisfactoria
47,6 a 50,0%	buena
mayor que 50%	muy buena.

1.2 Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus L.*) es una planta trepadora, perenne, dioica, pertene-

ciente al grupo de las urticáceas y la familia cannabaceae. En la fábrica de cerveza se utilizan únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas. Éstas contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargantes y aromáticos.

Formulándolo de otra manera: los lúpulos son los estróbilos secos de la planta de lúpulo femenina, como también los productos fabricados a partir de aquéllos, conteniendo estos productos solamente componentes del lúpulo.

El cultivo del lúpulo es realizado en zonas especiales, en las cuales están dadas las condiciones para ello. Luego de la cosecha, se realiza el secado y el preparado, para evitar pérdidas de valor.

La estructura del estróbilo de lúpulo y su composición dan indicaciones importantes para la evaluación del lúpulo.

1.2.1 Zonas de cultivo de lúpulo

Los países donde se cultiva más lúpulo son Alemania y EE.UU., seguidos por la República Checa y, últimamente, China. En los últimos años se cubrieron con cultivo y cosecha de lúpulo las siguientes superficies [217]:

País	Superficie de cosecha en ha 2001	1995	Cosecha n t 2001
Alemania	19023	34121	31739
Inglaterra	1865	4078	2563
España	716	1724	1392
Francia	816	1108	1212
Bélgica	249	603	416
Austria	215	335	337
Portugal	38	128	52
Irlanda	3	10	2
Unión Europea	22925	42109	37715
República Checa	6088	9910	6637
Ucrania	1400*	2565	1100*
Rusia	1100	2500*	460
Polonia	2250	3264	2200
Eslovenia	1807	3967	2149
Rumania	100*	1839	50*
Rep. Eslovaca	350	1035	300
Yugoslavia	448	808	750
Bulgaria	320	360	295
Turquía	356	300	166
Suiza	24	50	52
Hungría	34	37	34
Resto Europa tot.	37202	68743	51908
EE.UU.	14505	35768	30259
Argentina	120	375	128
América total	14625	36307	30387
Sudáfrica	500	1209	766
África total	500	1274	766
China	5000	16005*	12500
Japón	314	956	643
India	50	94	42
Corea del Sur	1	9	0,
Asia total	5365	17064	13186
Australia	862	2558	2181
Nueva Zelanda	392	756	715
Australia total	1254	3315	2896
Total mundial	58946	126686	99143

* = estimado

La superficie mundial de cosecha se redujo de forma continua desde 1994 de 86.786 ha a 58.946 ha (2001), lo cual significa una reducción del 32 % de la superficie de cultivo de lúpulo en siete años.

En total, resulta una demanda de lúpulo del orden de aproximadamente 125.000 t, la cual no siempre es cubierta por las cantidades variables de cosecha anual (Figura 1.9). Por otro lado, la reserva mundial de lúpulo cubre toda la demanda de un año. Dejando de lado las regiones en las cuales el consumo de cerveza se desarrolla fuertemente, se registra, sin embargo, una demanda decreciente de lúpulo, debido a

- un consumo de cerveza estancado y parcialmente decreciente,

- un amargor de cerveza reducido universalmente, y
- la utilización intensificada de variedades de alto α.

La zona de cultivo de Spalt, con una superficie de cultivo de lúpulo de 455 ha (en 1997 eran todavía 627 ha), se encuentra en el sudoeste de Nuremberg.

Alemania

La zona, donde se cultiva más lúpulo en Alemania es la Hallertau (Figura 1.10). Entre Augsburgo y Regensburgo, con centro alrededor de Mainburgo, se produce ahí, sobre una superficie de cultivo de 15.510 ha (en 1997 eran todavía 17.440 ha) la cantidad principal de cosecha del lúpulo alemán.

La zona de cultivo de Tettnang se extiende sobre la parte norte del lago de Constanza, con una superficie de cultivo de 1.547 ha (en 1997 eran todavía 1.666 ha).

En la zona Elb-Saale, 47 (1996) productores de lúpulo lo cultivan sobre un total de 1.395 ha (en 1997 eran todavía 1.526 ha). La zona de Elba-Saale no es una zona claramente delimitada, sino que se extiende a las provincias Sajonia, Turingia y la parte sur de Sajonia-Anhalt.

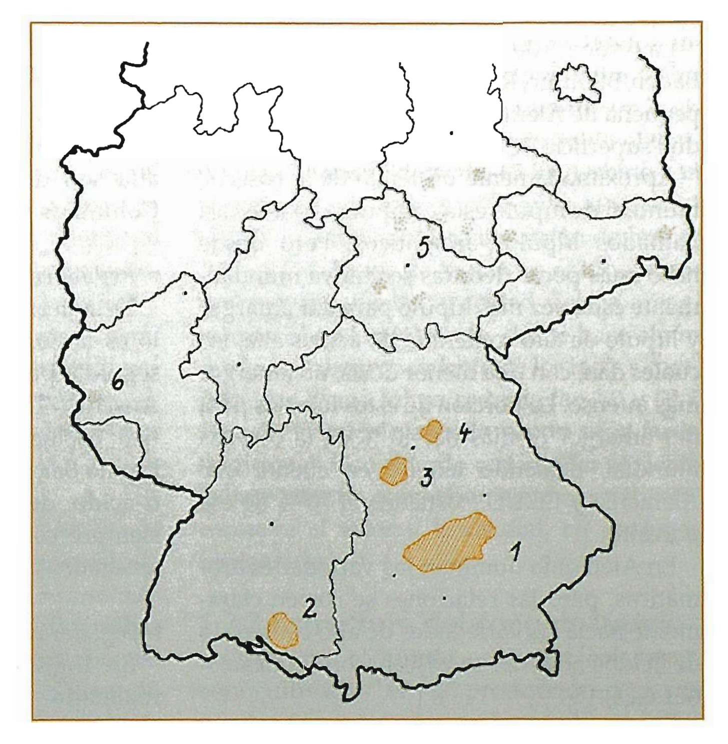


Figura 1.10
Zonas de cultivo de lúpulo en Alemania

(1) Hallertau, (2) Tettnang, (3) Spalt, (4) Hersbruck, (5) Zona de Elba-Saale, (6) Baden/Bitburgo/Renania-Palatinado

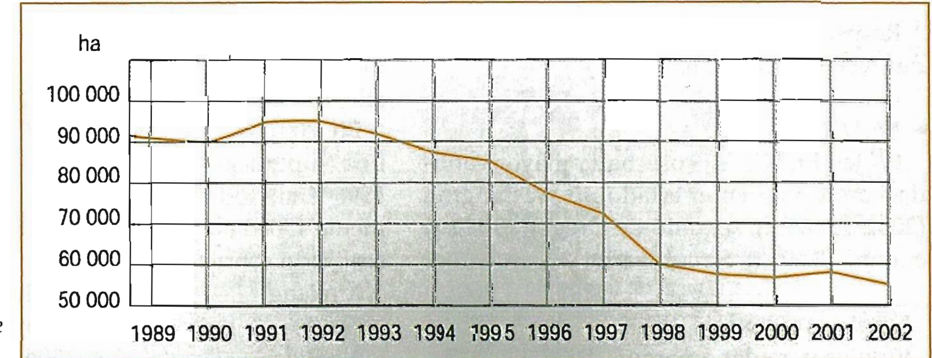


Figura 1.9
Cosecha mundial de lúpulo

Hersbruck, ubicado en el noreste de Nuremberg, se encuentra en el borde de los Alpes de Franconia. La zona de Hersbruck es, con una superficie de cultivo de 98 ha (en 1997 eran todavía 106 ha), una de las zonas de cultivo de lúpulo más pequeñas de Alemania.

La zona de cultivo de lúpulo de Baden/Bitburgo/Renania-Palatinado es la más pequeña de Alemania, con tres cultivadores y una superficie de cultivo de apenas 16 ha.

Aproximadamente un tercio de la cosecha mundial de lúpulo está compuesto por los así llamados lúpulos aromáticos. Pero desde hace unas pocas décadas se cultiva mundialmente cada vez más lúpulo para dar amargor y lúpulo de alto contenido de ácidos alfa, los cuales dan, con una menor dosis, un amargor más intenso. La porción de estos lúpulos para dar amargor es más del 40 % de la cosecha mundial, debiendo tenerse en cuenta que Alemania y EE.UU. sostienen el 70 % de esa porción.

En Alemania dominan las variedades aromáticas, pero las relaciones se corren claramente hacia las variedades de alto contenido de ácidos alfa. Así se cosecharon (indicaciones en t):

	1996	2001
lúpulos aromáticos	24316	16829
lúpulos para dar amargor	8735	2886
lúpulo de alto contenido de ácidos alfa	6300	11912
Alemania total	39511	31739

Respecto de la diferenciación de variedades, ver Sección 1.2.6.

▶ *EE.UU.*

En los EE.UU. se cosecha la mayor cantidad de lúpulo en el estado de Washington (2001: 22.977 t), seguido de Oregon (5.191 t) e Idaho (2.091 t). Se cultivaron y cosecharon:

	1997	2001
lúpulos aromáticos	7741	6052
lúpulos para dar amargor	5030	639
lúpulo de alto contenido de ácidos alfa	19550	22096
otros	1684	1472
EE.UU. total	34006	30259

En las variedades aromáticas domina la variedad Willamette, seguida por Cascade y Mt. Hood. Las variedades amargantes y de variedades de alto contenido de ácidos alfa son dominadas por Galena, Nugget, Columbus y Zeus.

▶ *República Checa*

La superficie principal de cultivo de lúpulo es la zona de Saaz, con 3.494 ha (2001), seguida por las zonas más pequeñas de Auscha (773 ha) y Tirschitz (597 ha). Se cultiva exclusivamente lúpulo aromático. El lúpulo Saaz, con un contenido promedio de α-ácido del 4,0%, es considerado desde siempre como uno de los mejores lúpulos aromáticos.

▶ *Inglaterra*

En Inglaterra, el cultivo de lúpulo es realizado en los condados de Kent y Herefordshire, sobre (2001) 1865 ha (en 1997 eran todavía 3.067 ha). Las variedades principales son la variedad de alto contenido de ácidos alfa Target y las variedades aromáticas Goldings y Challenger.

▶ *China*

La producción de cerveza en China se ha incrementado fuertemente. De acuerdo con ello, se amplía el cultivo de lúpulo.

En 2001, se cosecharon en China, sobre una superficie de cultivo de 5.000 ha (en 1996 eran todavía 4.400 ha), aproximadamente 13000 t de lúpulo. El cultivo (1996) es realizado sobre todo en las provincias:

Xinjiang	2500 ha	7500 t
Gansu	1700 ha	4000 t
Ningxia	150 ha	400 t

Se cultiva principalmente la variedad amargante Tsingdao Flower 641, como también la variedad Toyomidori.

1.2.2 Cosecha, secado y estabilizado del lúpulo

Luego de la cosecha, el lúpulo debe ser secado y procesado a una forma almacenable.

1.2.2.1 Cosecha

La cosecha de lúpulo es realizada en el momento de la madurez técnica, a fines de agosto, y debería estar finalizada dentro de los 14 días. La cosecha radica en que se suelta del alambre a la planta trepadora de lúpulo y se recogen los conos (inflorescencias femeninas) de pedúnculo corto. La cosecha de lúpulo es realizada hoy en día exclusivamente por medio de máquinas cosechadoras de lúpulo.

1.2.2.2 Secado

El lúpulo cosechado tiene un contenido de agua de 75 a 80%. En esta forma no es almacenable. Por ello, el lúpulo debe ser secado inmediatamente. El secado se realiza sobre secadores de banda o, en establecimientos más pequeños, sobre bandejas, operando por lotes. El lúpulo es secado cuidadosamente a 50°C, hasta alcanzar un contenido de agua de 8 a 12 %. Luego, el lúpulo es compactado, es decir comprimido en fardos tradicionales o unidades más grandes.

Tampoco en esta forma el lúpulo es conservable por mucho tiempo sin una pérdida de calidad. Como resultado de

- la acción del oxígeno,
- la acción de la humedad, y
- el calentamiento se producen pronto mermas en el valor de amargor y otros efectos negativos. Es por ello, que el lúpulo debe ser estabilizado.

1.2.2.3 Estabilizado del lúpulo

La mayor parte de la cosecha de lúpulo es transformada en extracto y pellets. Sólo una parte es adicionada como lúpulo natural. Pero, en todos los casos, transcurre un tiempo, desde la cosecha hasta el procesamiento, durante el cual debe protegerse al lúpulo contra un deterioro ulterior. Para ello, se comprime el lúpulo secado mediante prensas hidráulicas hasta obtener fardos comprimidos de aproximadamente 1,1 m de longitud y 0,6 m de diámetro, los cuales son cubiertos y cosidos en arpillera. El fardo comprimido obtenido pesa aproximadamente 65 kg. Debido a la compresión, se reduce el ingreso de aire al lúpulo y se dificulta una absorción de humedad. A los efectos de lograr un óptimo aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento se está cambiando, desde hace algún tiempo, el almacenamiento de los fardos comprimidos a una forma rectangular (60 x 60 x 120 cm) y apilable, substituyendo así al fardo tradicional. Con el fardo rectangular se sienta la base para un almacenamiento efectivo, que conserva el valor y la calidad, en un lugar refrigerado.

1.2.3 Estructura del cono de lúpulo

Dado que el lúpulo es dioico, solamente son cultivadas en la producción agrícola plantas femeninas, las cuales producen inflorescencia a partir del segundo año. Debido a su forma, esta inflorescencia es llamada cono de lúpulo. La estructura del cono de lúpulo es muy importante para el conocimiento de las substancias contenidas (Figura 1.11).

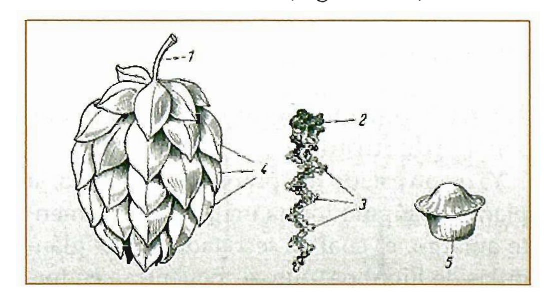


Figura 1.11 Cono de lúpulo
(1) pedúnculo, (2) raquis, (3) florecillas, (4) bráctea, (5) lupulina

Parte del cono	Propiedades
Pedúnculo (1),	debe ser corto
Raquis (2),	eje con forma en zigzag
Florecilla (3),	en cada dobladura hay florecillas de muy poca apariencia, con grandes brácteas. Cuando el lúpulo está fertilizado, se forman aquí semillas; el lúpulo fértil tiene conos más abiertos
Brácteas (4),	hojas verde-amarillentas ovales, más amarillas en la base que en la punta; las brácteas están ordenadas de manera tal de formar un cono
Lupulina (5)	polvo amarillo, pegajoso, que se encuentra en las bracteolas; éstas se encuentran ubicadas entre el raquis y las brácteas. Se forma un cáliz glandular, en el que se secretan resinas amargas y aceites etéreos; el cáliz se recubre con una membrana, a los efectos de impedir un escape de la materia secretada; ante contacto, el cáliz de lupulina se quiebra; la lupulina contiene todas las substancias del lúpulo, las cuales son importantes, salvo los taninos, para la elaboración de cerveza.

1.2.4 Composición y propiedades de los componentes

La composición del lúpulo tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza fabricada a partir de éste. En su materia seca, el lúpulo esta compuesto por:

compuestos amargos	18,5%
aceite de lúpulo	0,5%
taninos	3,5%
proteína	20,0%
Substancias minerales	8,0%

El resto está compuesto por celulosa y otras substancias que no son de importancia para la fabricación de cerveza. Los componentes más importantes para la fabricación de cerveza son los compuestos amargos y el aceite de lúpulo.

1.2.4.1 Compuestos amargos o resinas de lúpulo

Ya en un estado temprano de desarrollo, la planta de lúpulo forma un β-ácido levemente amargo, el cual es secretado en las glándulas de lupulina, que se encuentran en formación. A lo largo del proceso de maduración, una parte de estos β-ácidos es convertida en α-ácidos, notablemente más amargos. Esta conversión, que cubre solamente una parte de los β-ácidos, es muy dependiente de las condiciones climáticas. Por ejemplo, los tiempos de maduración calurosos y secos entorpecen más esta conversión que los veranos frescos y húmedos.

Los α-ácidos o humulonas son los compuestos más importantes para el amargor de la cerveza. Sin embargo, no presentan una composición uniforme. En esto, a uno de los compuestos, la cohumulona, se le asigna una función más bien negativa para el amargor de cerveza. Dado que la cantidad de α-ácidos formada y la composición de éstos es una característica de variedad, se trata hoy en día de obtener sobre todo variedades con una porción menor de cohumulona, en el cultivo de lúpulo. Se aspiran a obtener, del contenido de α-ácidos, porciones menores que 20 a 25% de cohumulona.

En los lúpulos aromáticos, el contenido promedio de α-ácidos es 4 a 5%.

Algunas variedades de lúpulo, tales como por ejemplo la Northern Brewer, tienen un mayor contenido de α-ácidos (6 a 9%), pero

también una mayor porción de cohumulona (más del 30% de los α-ácidos). Es por ello que son más amargas. Pero debido a un mayor contenido de cohumulona, no son tan buenas cualitativamente como otras variedades con una porción más reducida de cohumulona.

Las variedades nuevas de lúpulo se cultivan con un contenido de α-ácidos notablemente mayor, de hasta 15 y 16%. A estas variedades de alto contenido de alfa-ácidos corresponden, por ejemplo, las variedades Nugget, Target, Hallertauer Magnum y Hallertauer Taurus. La porción de variedades de alto contenido de alfa-ácidos crece de forma continua.

Los α-ácidos, primeramente insolubles, son isomerizados luego en la cocción del mosto y convertidos, de esta manera, en iso α-ácidos solubles. Estos últimos, salvo las precipitaciones durante el enfriamiento y la fermentación, van a parar a la cerveza terminada y son los causantes del amargor. Los compuestos amargos son muy tensioactivos, mejorando así la estabilidad de la espuma. Por ello, se puede esperar de una cerveza más amarga una mejor estabilidad de la espuma.

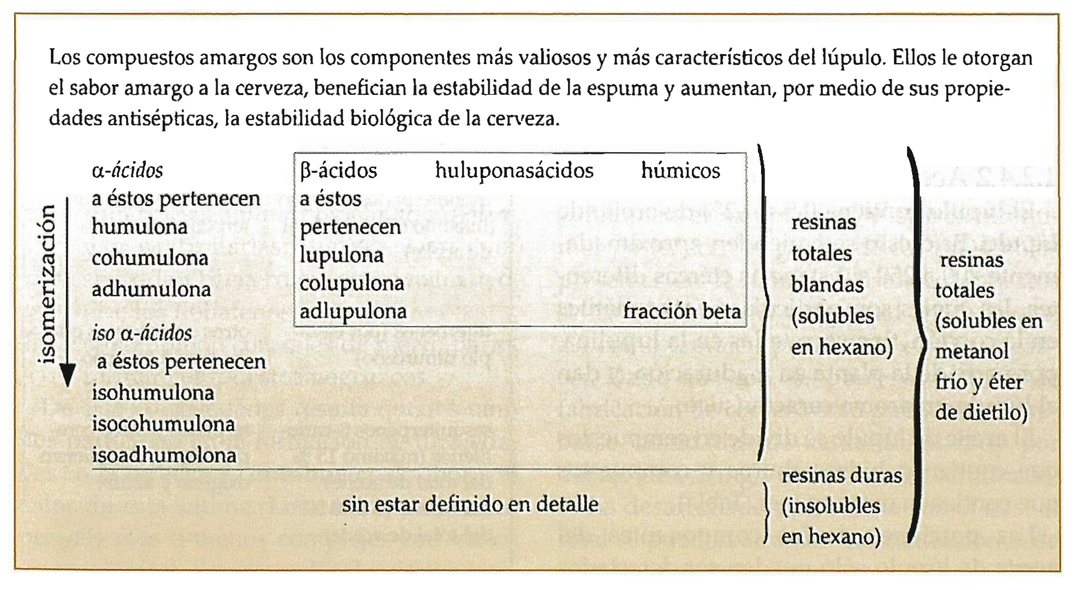
Los compuestos amargos inhiben también el desarrollo de microorganismos en la cerveza. Sin embargo, esta actividad bacterioestática no es demasiado grande y no substituye las medidas necesarias para la conservación.

Los α-ácidos no son conservables ilimitadamente, dado que la membrana que cubre las glándulas de lupulina es permeable y protege muy poco el contenido. El α-ácido se degrada cada vez más, debido a la influencia del oxígeno, la mayor temperatura y la mayor humedad del aire. Debe tenerse en cuenta que a una temperatura de almacenamiento de 18°C se habrá degradado hasta un 25% del α- ácido en dos meses [155]. Ello significa que inmediatamente después de la formación del α-ácido comienza su degradación hasta la madurez.

De esto resulta la necesidad de almacenar el lúpulo en un lugar frío, seco y hermético al aire, hasta ser procesado.

La conversión de los α-ácidos y β-ácidos ocurre finalmente a resinas duras, que no poseen ningún valor para la elaboración de cerveza. Al mismo tiempo, se disocia de cadenas laterales el ácido valerico, el cual otorga un olor caseoso al lúpulo viejo.

Los compuestos amargos o resinas de lúpulo son divididos, sobre todo debido a su solubilidad, en las siguientes fracciones:



Los compuestos amargos son los componentes más valiosos y más característicos del lúpulo. Ellos le otorgan el sabor amargo a la cerveza, benefician la estabilidad de la espuma y aumentan, por medio de sus propiedades antisépticas, la estabilidad biológica de la cerveza.

Tal como ya fue indicado, los diferentes compuestos amargos tienen muy distintos valores de amargor. En esto, los α-ácidos tienen un amargor nueve veces mayor que toda la fracción β. De ello resulta la fórmula desarrollada por Wöllmer para el valor de amargor del lúpulo:

$$\text{valor de amargor} = \frac{\alpha\text{-ácidos} + \text{fracción } \beta}{9}$$

El α-ácido es por lejos el factor más importante, que también determina en gran parte el valor comercial del lúpulo. Por ello, se intensificó en las últimas décadas el cultivo de variedades de alto contenido de alfa-ácidos. Últimamente hay en el mercado variedades de lúpulo con un contenido de α-ácidos de 12 y de hasta 15%, con una porción de cohumulona menor que 25% [156]. El cultivo de variedades de lúpulo de alto contenido de α-ácidos, ricas en valor de amargor, ocupa una porción creciente del 8,8% en el ámbito mundial.

1.2.4.2 Aceite de lúpulo

El lúpulo contiene 0,5 a 1,2% de aceite de lúpulo. Bajo esto se entienden aproximadamente 200 a 250 substancias etéreas diferentes, las cuales son particularmente volátiles en la cocción. Son secretadas en la lupulina, por parte de la planta en maduración, y dan al lúpulo un aroma característico.

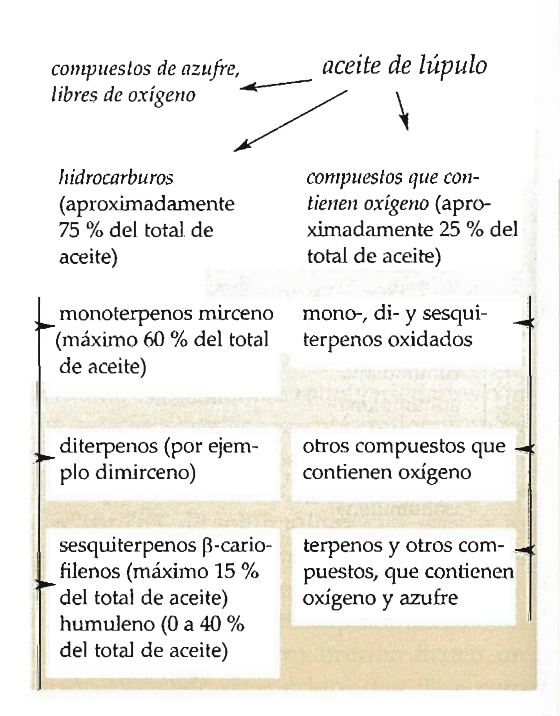
El aceite de lúpulo se divide en compuestos que contienen hidrocarburos y compuestos que contienen oxígeno (ver. Tabla).

Las porciones de los componentes del aceite de lúpulo sólo pueden ser detectadas por medio de ensayos cromatográficos en fase gaseosa. Aquí los componentes se presentan como puntas (peaks). Sin embargo, no se pueden sacar de ello conclusiones algunas sobre la acción combinada de los diferentes componentes aromáticos, que finalmente hacen al aroma total. Es por ello que en la evaluación del lúpulo la calidad se determina desde siempre predominantemente por control de calidad manual.

La diferente composición del aceite de lúpulo es específica para cada variedad.

Pero algunos compuestos tienen un efecto aromático especial:

Los monoterpenos de bajo punto de ebullición, del tipo mirceno, dan una determinada acidez al aroma de lúpulo, otorgándole a la cerveza un matiz áspero y desagradable. Por ello, el mirceno es más bien indeseado. Por el contrario, son considerados componentes aromáticos positivos, por ejemplo, los sesquiterpenos, los β-cariofilenos, los β-farnesenos o los humulenos, respectivamente sus epóxidos.



Durante el proceso de cocción en la sala de cocción, el aceite de lúpulo se volatiliza de forma progresiva. A los efectos de conservar al menos una parte del aceite de lúpulo aromático, se adiciona más tardíamente el lúpulo en las cervezas, en las que se pone énfasis en un sabor y un aroma de lúpulo aromático, desistiendo con ello a una parte del α-ácido isomerizado (ver Sección 3.4.1.1).

Para esto se cultivan los así llamados lúpulos aromáticos. Éstas son variedades con un aroma fino y con valores de α-ácido de solamente 4 a 6%. Se aspira aquí a tener una porción de cohumulona menor que el 20% y una porción en lo posible elevada de humuleno y farneseno en el aceite de lúpulo.

La porción de lúpulo aromático se incrementó en Alemania, en los últimos 10 años, del 48% al 63% de la cosecha total. Las variedades aromáticas son, por ejemplo, Saazer, Tettnanger, Perle, Spalter Select, Hallertauer Tradition, Hersbrucker, etc.

1.2.4.3 Taninos o polifenoles

El lúpulo contiene 2 a 5% de taninos en la materia seca, los cuales se encuentran casi exclusivamente en las brácteas y los raquis. Los taninos tienen algunas propiedades importantes para el cervecero:

1. tienen un sabor astringente (sensación mixta en la lengua entre sequedad intensa y amargor);
2. tiene la capacidad de combinarse con substancias albuminoideas complejas y de precipitarlas;
3. se oxidan hacia compuestos rojimarrones, los flobafenos, y
4. se combinan con sales de hierro para formar compuestos negruzcos.

De estas propiedades resulta que los taninos participan en la formación de turbiedades en la cerveza y contribuyen al sabor y al color de esta última. Los taninos son compuestos más o menos complejos con varios grupos fenilos. Por eso se los denomina también polifenoles. Éstos están compuestos por una mezcla de taninos, flavonoles, catequinas y antocianógenos.

Los más importantes de estos polifenoles son los antocianógenos, en cuanto a cantidad y alcance.

Los antocianógenos integran aproximadamente el 80% de los polifenoles del lúpulo. Los antocianógenos de la malta, los cuales se encuentran ubicados predominantemente en la capa de aleurona, tienen básicamente la misma estructura que los del lúpulo. En un mosto de composición normal, el 80% de los antocianógenos proviene de la malta y el 20 % del lúpulo.

Los polifenoles del lúpulo se diferencian de los de la malta sobre todo por su grado de condensación más elevado y por su mayor reactividad. Los polifenoles tienen un efecto antioxidante.

Fórmula estructural del antocianógeno

(leucoantocianidina)

También el xantohumol y el isoxantohumol pertenecen al grupo de los polifenoles presentes en el lúpulo. A estos compuestos se les adjudica una propiedad antioxidante, así como también preventiva contra el cáncer. Dado que con los procesos usuales de fabricación de cerveza sólo pueden comprobarse cantidades de xantohumol muy por debajo de 0,2 mg/l en la cerveza terminada, se ha desarrollado un proceso con el cual al final se pueden alcanzar concentraciones de xantohumol de 1 a 3 mg/l en la cerveza [250].

1.2.4.4 Substancias albuminoideas

El 12 al 20% de la materia seca del lúpulo son substancias albuminoideas, de las cuales el 30 al 50% llegan a la cerveza. Debido a su cantidad reducida, la proteína de lúpulo no tiene importancia para la fabricación de la cerveza (formación de espuma, paladar intenso).

Los otros componentes del lúpulo (hidratos de carbono, ácidos orgánicos, substancias minerales) carecen de interés para la fabricación de cerveza.

1.2.5 Evaluación del lúpulo

La evaluación del lúpulo se realiza

- por control de calidad manual del lúpulo entero, y
- por determinación de los α-ácidos en el lúpulo
- o en los productos.

1.2.5.1 Control de calidad manual del lúpulo entero

Si bien los procesos de análisis dan informaciones concretas sobre las substancias contenidas en el lúpulo, el control de calidad manual del lúpulo cumple desde siempre una función importante, dando una buena impresión general sobre el lúpulo.

De acuerdo con el método estándar de la Comisión Científica de la European Hop Growers Convention se otorgan

- para las propiedades que dan valor hasta 100 puntos positivos, y
- para las propiedades que reducen valor hasta 30 puntos negativos.

De acuerdo con esto se evalúan:

▶ *Cosecha (1 a 5 puntos positivos)*
Debe ser libre de impurezas, tallos y hojas. Los tallos que se encuentran en el cono se cuentan recién a partir de los 2,5 cm. Hasta un 3% en porción de hojas y tallos es aceptable.

▶ *Estado de sequedad (1 a 5 puntos positivos)*
En un ensayo de presión, el cono no debe aglutinarse o deshojarse; el raquis no debe romperse. Bajo humedad elevada, el lúpulo se pone de color marrón oscuro, se desarrollan fácilmente hongos y se forma un olor mohoso.

▶ *Color y brillo (1 a 15 puntos positivos)*
El color debe ser amarillento verde y el brillo debe ser brillante sedoso. Los conos grisverdosos indican una falta de maduración. Los conos amarillento rojos a marrón herrumbroso indican sobremaduración (oxidación). Los conos de color marrón oscuro indican calentamiento debido a humedad demasiado elevada. Las manchas de color rojizo a marrón indican tizón debido a la araña roja o provienen de daño por granizo. Las marcas blancas en conos marchitados indican una infección de mildiú. Los conos fuliginosos indican infección por negrilla. Los conos de color amarillo claro y los tallos verdes indican un azufrado intenso.

▶ *Forma del cono (1 a 15 puntos positivos)*
Se desean conos uniformemente grandes y cerrados. En los lúpulos aromáticos el raquis debe estar bien entramado y bien cubierto por pilosidades. Un cono bien cerrado permite asumir una maduración suficiente y un secado cuidadoso; impide que la lupulina caiga afuera.

▶ *Lupulina (1 a 30 puntos positivos)*
Se desea que en lo posible haya mucha lupulina (1 a 15 puntos positivos) de color limón a amarillo áureo, brillante y pegajosa. La lupulina rojo amarillenta a rojiza marrón, mate y seca indica un lúpulo que fue tostado demasiado caliente o que ha envejecido (otros 1 a 15 puntos positivos). La lupulina es naturalmente la característica de valor del lúpulo más importante para el cervecero.

▶ *Aroma (1 a 30 puntos positivos)*
El aroma debe ser limpio, muy fino y fuertemente persistente. En una evaluación sensorial del cono molido sobre el dorso de la

mano se distingue la limpieza, la fineza y la intensidad del aroma. La limpieza puede ser limpia, variable o no limpia. La fineza es muy fina, bastante fina, moderadamente fina, no fina, con olor a paja, mohosa o deteriorada. La intensidad es fuertemente persistente, persistente, moderadamente fuerte, débil, corta, muy fuerte, molesta o acre. Cada tipo de variedad tiene un aroma propio, que se manifiesta. Los olores a humo, a quemado, a cebolla, a ajo, a heno, a pasto, a paja, a azufre se consideran olores extraños.

- *Enfermedades, parásitos, semillas (0 a 15 puntos negativos)*
  Se incluyen aquí los deterioros causados por peronospora, negrilla (pulgón del lúpulo), tizón (ácaro), puntas rojas (mosquita de la agalla), muerte del cono, así como también la pérdida de brácteas y bractéolas y la fecundación.
- *Tratamiento defectuoso (0 a 15 puntos negativos)*
  Esto incluye la lupulina marrón o quemada, debido a una temperatura de secado demasiado elevada, deterioro debido a humedad demasiado elevada, fuerte pérdida de hojas de los conos, manchas de pulverización y olores extraños.

Evaluación general: El lúpulo se clasifica como, con un puntaje total alcanzado de

< 60 puntos,	pobre
60 a 66 puntos,	promedio
67 a 73 puntos,	bueno
74 a 79 puntos,	muy bueno
> 80 puntos,	premium.

1.2.5.2 Contenido de compuestos amargos

La indicación más importante para el cervecero es naturalmente la del contenido de compuestos amargos del lúpulo. Éste puede ser determinado de forma exacta únicamente en el laboratorio. Para ello son usuales y posibles diferentes métodos.

Según el método conductométrico
Se determina el contenido de resina total, el contenido de resina total blanda y el contenido de resina dura.
Los valores normales son aproximadamente

	cono de lúpulo polvo de lúpulo	*polvo de lúpulo enriquecido*	*extracto de lúpulo*
	% (seco al aire)	*% (seco al aire)*	*% (seco al aire)*
resinas totales	*12-24*	*22-40*	*30-60*
resinas totales blandas	*10-18*	*18-36*	*24-54*
valor conductométrico	*4-10*	*7-20*	*9-30*
fracción β	*5-9*	*11-16*	*15-24*
resinas duras	*2-4*	*2-7*	*3-10*

El valor conductométrico corresponde al contenido de α-ácido.

A los efectos de poder efectuar una dosificación segura del lúpulo, se indica siempre la cantidad total de α-ácido en gramos, contenida en los envases al vacío de los pellets o cajas.

Por ejemplo, si el envase al vacío de 1350 g tiene, aparte de lo impreso referente a origen, variedad y cosecha, la impresión

196 G α,

ello significa lo siguiente: los 1350 g de polvo o pellets en el envase contienen 196 g de α-ácido. Esto es en porcentaje:

1350 g de contenido del envase = 100%
196 g de α-ácido = x%

$$x = \frac{196\ g \cdot 100\%}{1350\ g} = 14{,}52\%$$

El producto de lúpulo tiene un contenido de α-ácido del 14,52%.

1.2.6 Variedades de lúpulo

El lúpulo es por lejos la materia prima más cara en la fabricación de cerveza. Conse-

cuentemente, la selección de las variedades en el cultivo y el comercio de lúpulo tiene una importancia muy especial. Hemos visto según qué criterios se evalúa el lúpulo. Pero también sabemos que, aparte de los lúpulos con un alto valor de amargor, también son muy demandados los lúpulos aromáticos, más pobres en compuestos amargos.

En el comercio de lúpulo se distingue según

- variedades aromáticas
- variedades amargas, y
- variedades de alto contenido de alfa-ácidos

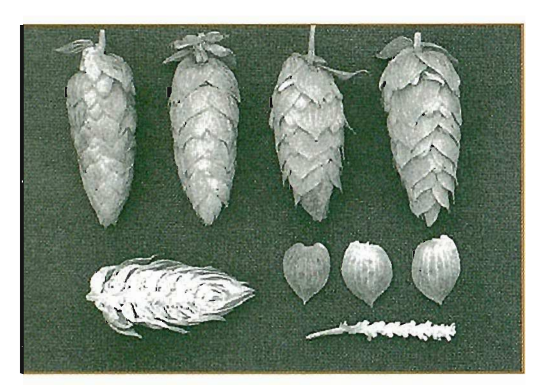


Figura 1.11a
Variedad de alto contenido de alfa-ácidos Hallertauer Magnum

Las variedades aromáticas se distinguen por un agradable aroma de lúpulo, una porción de cohumulona menor que 20% y una porción más alta de componentes de aroma fino (cariofileno, farneseno). A pesar de su reducida porción de α-ácidos de 2,5 a 5,0%, se los comercializa en parte a precios más altos. Por ejemplo, son demandadas las variedades aromáticas

- Saazer
- Tettnanger
- Hersbrucker Spät
- Perle
- Hallertauer Tradition
- Spalter Select.

Las variedades amargas se distinguen por un mayor contenido de α-ácidos. Por ejemplo, son variedades amargas importantes

- Northern Brewer
- Brewers Gold.

Las variedades de alto contenido de alfa-ácidos son variedades amargas, que se distinguen por un muy alto contenido de α-ácidos de más de 10% y hasta 18%. Pero de una buena variedad de alto contenido de alfa-ácidos se requiere también una porción de cohumulona de a lo sumo 25%. Son variedades importantes de alto contenido de alfa-ácidos:

- Hallertauer Magnum (Figura 1.11a)
- Hallertauer Tradition
- Nugget
- Target.

Dado que la calidad del lúpulo no depende únicamente de la variedad, sino también de la zona de cultivo, la partida de lúpulo es nombrada primeramente según la zona de cultivo y después según la variedad. Por ejemplo

- Hallertau Hallertauer Tradition, o
- Elbe-Saale Hallertauer Tradition.

El contenido de α-ácido depende también del año de cosecha y puede –según las condiciones climáticas del año– variar dentro de amplios límites. Así, el contenido promedio de α-ácidos (en %) fue para la

Variedad de lúpulo	en los años 1994	1997	2001
Hallertau Hersbrucker spät	1,3	4,3	2,5
Hallertau Perle	3,3	8,5	6,7
Hallertau Spalter Select	2,2	6,2	4,2
Hallertau Hallertauer Tradition	3,7	6,4	6,0
Hallertau Hallertauer mittelfrüh	2,6	5,1	4,2
Hallertau Nugget	8,8	12,5	10,9

Variedad de lúpulo	en los años		
	1994	1997	2001
Hallertau			
Hallertauer Magnum	9,6	15,7	13,1
Hallertau			
Northern Brewer	5,3	9,9	8,9
Elbe-Saale			
Northern Brewer	4,5	8,9	7,0
Elbe-Saale			
Hallertauer Magnum	9,2	13,9	12,8
Tettnang Tettnanger	2,9	5,0	4,0
Spalt Spalter	2,8	5,2	4,0

En Alemania, el desarrollo de las variedades se dirige hacia las variedades de alto contenido de α-ácidos, con alto valor cualitativo, tales como Hallertauer Magnum, mientras que son menos demandadas las viejas variedades amargas, tales como Northern Brewer; Brewers Gold o también Hersbrucker Spät.

Son bien calificadas, por ejemplo, las variedades aromáticas Perle, Spalter Select, Hallertauer Tradition y Hallertauer:

Variedad	superficies de cultivo en hectáreas		
	1994	1997	2001
Hersbrucker	5485	2004	1643
Perle	3591	3985	3606
Spalter Select	1253	1436	1080
Hallertauer Tradition	859	3104	1849
Hallertauer	926	1390	1411
Tettnanger	1057	1102	994
Total variedades aromáticas	13354	13207	10736
Northern Brewer	4821	2962	1695
Brewers Gold	1316	505	127
Total variedades amargas	6137	3467	1822
Hallertauer Magnum	1317	2984	4535
Hallertauer Taurus	0	608	1154
Nugget	503	776	581
Total variedades de alto contenido de alfa-ácidos	1911	4469	6335

La cantidad de establecimientos de cultivo de lúpulo (en su mayoría pequeños cultivadores de lúpulo) era en 2001 aún de 2095. Esto es 102 menos que en el año anterior. En 1995, había en Alemania todavía 3122 cultivadores, lo cual significa un retroceso de casi un tercio en unos pocos años. Al mismo tiempo, se agrandó la superficie promedio de los establecimientos a 9,08 hectáreas de superficie de cultivo de lúpulo por establecimiento. Aun así, se cultiva todavía demasiado lúpulo, sobre todo en Alemania y en EE.UU., lo cual gravita negativamente sobre su precio comercial.

El motivo es que se cultivan cada vez más variedades de alto contenido de alfa-ácidos y al mismo tiempo se les da menos amargor a las cervezas. Hoy en día en el ámbito mundial, se calcula en promedio con 5,1 g alfa/hl de cerveza. La demanda mundial de alfa-ácidos es de 7000 t anuales.

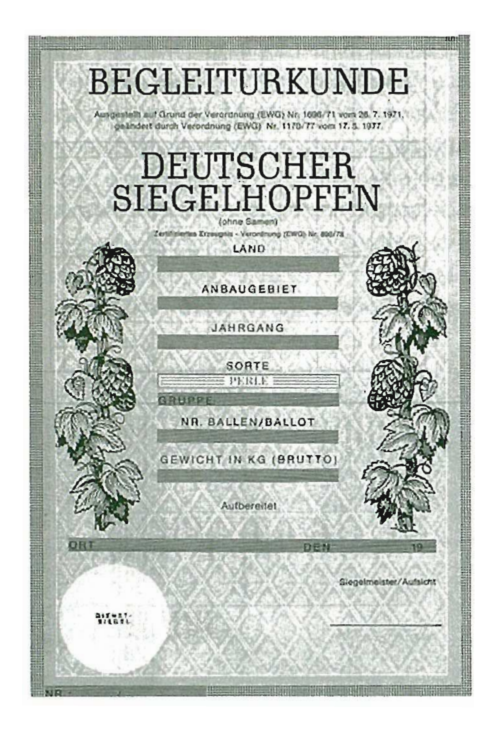
La mayor inclinación hacia las variedades amargas es visible en la siguiente tabla para la cosecha 2001 de algunos países (indicaciones en t) [217]:

	Variedades aromáticas	variedades amargas y de alto contenido de alfa-ácidos
EE.UU.	6052	22735
Alemania	16829	14797
Inglaterra	1236	1307
Australia	3	2374

A los efectos de garantizar la calidad del lúpulo suministrado y excluir engaños, se sella cada partida de lúpulo natural, proveniente de una zona de cultivo alemana. Esta partida es acompañada por un certificado anexo (Figura 1.11 b), en el que se detallan

- la provincia de cultivo (por ejemplo, Baviera),
- la zona de cultivo (por ejemplo, Hallertau),
- la cosecha (por ejemplo, 1993),

- la variedad (aquí, por ejemplo, Tettnanger),
- el número de fardo o de fardo comprimido y el peso en kg.


BEGLEITURKUNDE

Ausgestellt auf Grund der Verordnung (EWG) Nr. 1696/71 vom 26. 7. 1971, geändert durch Verordnung (EWG) Nr. 1170/77 vom 17. 5. 1977.

DEUTSCHER SIEGELHOPFEN

(ohne Samen)

Zertifiziertes Erzeugnis - Verordnung (EWG) Nr. 890/78

LAND

ANBAUGEBIET

JAHRGANG

SORTE

PERLE

GRUPPE

NR. BALLEN/BALLOT

GEWICHT IN KG (BRUTTO)

Aufbereitet

ORT DEN 19

Siegelmeister/Aufsicht

NR.

Figura 1.11b
Certificado que acompaña un envase sellado de lúpulo alemán

1.2.7 Productos de lúpulo

La porción de fábricas de cerveza que utilizan lúpulo entero disminuye cada vez más, dado que la utilización de los productos de lúpulo ofrece ventajas importantes:

- Debido a la utilización de productos homogéneos de lúpulo, se logra una uniformidad en el amargor de la cerveza.
- Los productos de lúpulo pueden ser almacenados prácticamente por tiempo indefinido. De esta manera es posible mantener la disponibilidad de lúpulo de cosechas convenientes. Al mismo tiempo ya no se es más dependiente de las enormes variaciones de precio en el mercado del lúpulo.
- Se puede mejorar el rendimiento de los compuestos amargos mediante el uso de productos de lúpulo.
- Los productos de lúpulo causan menores costos de transporte y almacenamiento.
- Debido a la utilización de productos de lúpulo ya no es necesario el colador de lúpulo.
- Los productos de lúpulo pueden ser dosificados automáticamente.

Los productos de lúpulo más usuales pueden ser divididos en dos grupos:

- pellets de lúpulo
- extractos de lúpulo.

En el ámbito mundial se elaboran aproximadamente las siguientes porciones de productos de lúpulo [195]:

- lúpulo natural 15 a 20%
- pellets de lúpulo 40 a 45%
- extracto de lúpulo 30%
- productos isomerizados 10%

1.2.7.1 Pellets de lúpulo

La pelletización del lúpulo es un método muy efectivo para la conservación de sus substancias contenidas. Para ello, el lúpulo es pulverizado y luego comprimido hasta obtener pellets. En forma de pellet, el lúpulo se encuentra en un estado susceptible de corrimiento y puede ser adicionado fácilmente.

Se distingue entre tres tipos de pellets:

- pellets tipo 90
- pellets enriquecidos (tipo 45), y
- pellets isomerizados.

▶ Pellets tipo 90

En la fabricación de pellets tipo 90, se producen 90 kg de polvo a partir de 100 kg de lúpulo crudo. Este polvo contiene todas las substancias importantes del lúpulo original.

La fabricación de pellets de lúpulo (tipo 90) se realiza de manera tal [6] (Figura 1.12), que el lúpulo entero es secado cuidadosa-

mente a un contenido de agua de 7 a 9 %, primero con aire de 20 a 25°C y luego con aire caliente de 40 a 50°C (2), para ser ulteriormente triturado a polvo con una granulometría de

Figura 1.12
Fabricación de pellets de lúpulo
(1) suministro del lúpulo entero, (2) secado a un contenido de agua de 7 a 9%, (3) trituración, (4) tamización, (5) mezcla, (6) pelletización, (7) refrigeración, (8) embalaje

1 a 5 mm (3). Este polvo es mezclado (5) y pelletizado en un dispositivo de pelletización con matriz perforada (Figura 1.13) (6). Aquí, el material molido es comprimido fuertemente y llevado a una forma redonda, la cual es típica para los pellets. En este proceso, se produce un calentamiento del lúpulo, por lo cual podría ocurrir una reducción de valor. Es por ello de interés no permitir que la temperatura sobrepase los 50°C.

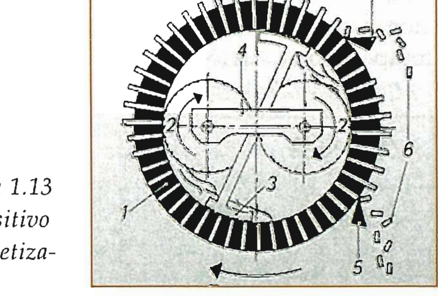


Figura 1.13 Dispositivo de pelletización
(1) molde (matriz), (2) rodillos prensadores, (3) dispositivo distribuidor, (4) bastidor de rodillos, (5) cuchilla rasacadora, (6) pellets (según Rohner, MK Müller)

En el posterior proceso de refrigeración (7), los pellets son enfriados y embalados herméticamente con exclusión del oxígeno del aire (8) y el embalaje es llenado con CO_2 o nitrógeno como gas de protección. Ello es necesario para mantener la calidad de las substancias contenidas.

Los pellets deben ser almacenados en frío a temperaturas de 1 a 3°C. Con un almacenamiento más cálido se produce una creciente pérdida de valor, debido a la reducción de amargor y la formación de resinas duras.

▶ Pellets enriquecidos (Tipo 45)

Para la fabricación de pellets enriquecidos con lupulina (tipo 45) se hace uso del hecho de que toda la resina y el aceite se encuentran en las glándulas de lupulina, las cuales

1

tienen un tamaño natural de partícula de aproximadamente 0,15 mm. La tarea comprende ahora aislar las glándulas de lupulina del conjunto de conos y separarlas de una parte de la porción de bráctea y tallo. Para ello se utilizan máquinas de trituración y tamizado cuidadosos.

Sin embargo, para poder procesar mecánicamente una glándula de lupulina, ésta debe estar dura y debe perder su poder adhesivo. Consecuentemente, su contenido líquido debe solidificarse. Es por eso que la trituración y el tamizado tienen lugar a muy bajas temperaturas, preferentemente a -35°C.

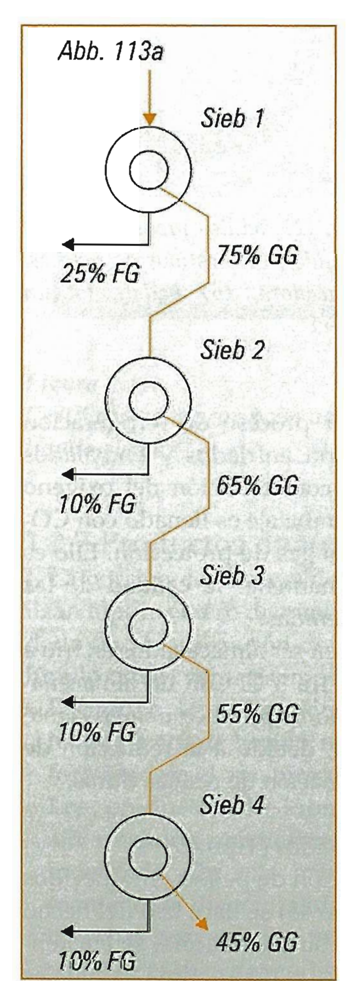


Figura 1.13a Fabricación de pellets reenriquecidos

(Valor de partida = lúpulo crudo molido) FG Material molido fino GG Material molido grueso

El material molido fino contiene las glándulas de lupulina y la mitad de la masa secada del cono. El material molido grueso está compuesto por partes de bráctea y raquis y es considerado desecho. La condición para la fabricación de pellets enriquecidos es que las glándulas de lupulina estén enteras y sin aplastar.

Sin embargo, no es posible realizar la separación de las glándulas de lupulina en una sola etapa de tamizado. Recién a través de repetidas trituraciones y tamizados se logra el objetivo de tener a todas las glándulas de lupulina intactas en el material molido fino y que prácticamente no haya ninguna en el material molido grueso (Figura 1.13a). En esto es decisivo para la separación la elección de la técnica de trituración y la abertura de malla de los tamices utilizados (150 a 500 µm). Esta separación puede ser continuada por medio de una concentración ulterior de lupulina hasta el Tipo 25 [164].

En los últimos años pudo comprobarse una tendencia creciente hacia esos pellets enriquecidos. En esto, un punto de vista importante es que en la utilización de pellets enriquecidos se produce –junto con la disminución de los desechos por separación de las partes de bráctea y tallo– también una reducción de la cantidad de taninos en los pellets.

El rendimiento en componentes amargos en los pellets es aproximadamente un 10% mayor que en el lúpulo entero. La causa de ello se encuentra principalmente en la distribución más rápida, en la paila de mosto, de las substancias contenidas y junto con esto en una ampliación de la superficie. De esta manera se realizan una extracción e isomerización más rápidas.

Para la conservabilidad de los pellets sensibles al oxígeno, es crucial la utilización de un embalaje hermético. A los efectos de alcanzar un contenido residual menor que 0,5 % volumétrico, el contenido del embalaje es llenado con un gas inerte. El ingreso de

oxígeno al embalaje es impedido por medio de una lámina de cuatro capas, con una capa sellante de aluminio.

El empaquetado se realiza a elección en:

- kg de pellets por paquete, o
- kg de alfa-ácido por paquete.

▶ Pellets isomerizados

Se puede lograr una isomerización de los α-ácidos por medio de la adición de óxido de magnesio. Esta isomerización tiene ventajas con respecto a los pellets convencionales, dado que el lúpulo no tiene que ser cocido durante tanto tiempo, a los efectos de alcanzar la isomerización:

- se mejora el rendimiento iso-alfa,
- por ello, se puede reducir el tiempo de cocción y,
- de esta manera, pueden disminuirse los costos de lúpulo y energía,
- los pellets isomerizados no tienen que ser almacenados en frío,
- se forma menos precipitado caliente.

La fabricación de pellets isomerizados (Figura 1.13b) se realiza de la misma forma que la de los pellets enriquecidos. Las diferencias son:

- previo a la pelletización se mezcla el lúpulo molido con óxido de magnesio, el cual causa, como catalizador, una isomerización de los α-ácidos, y
- luego del embalaje de los pellets, adicionados con óxido de magnesio, en láminas y cartones, éstos son sometidos a una temperatura de 50°C en una cámara térmica, durante el tiempo necesario hasta completar la isomerización.

Este proceso es controlado. Dado que los pellets están herméticamente encerrados en las láminas, no puede ingresar oxígeno adicional. Los pellets deben ser guardados en un lugar fresco a temperaturas de 1 a 3°C.

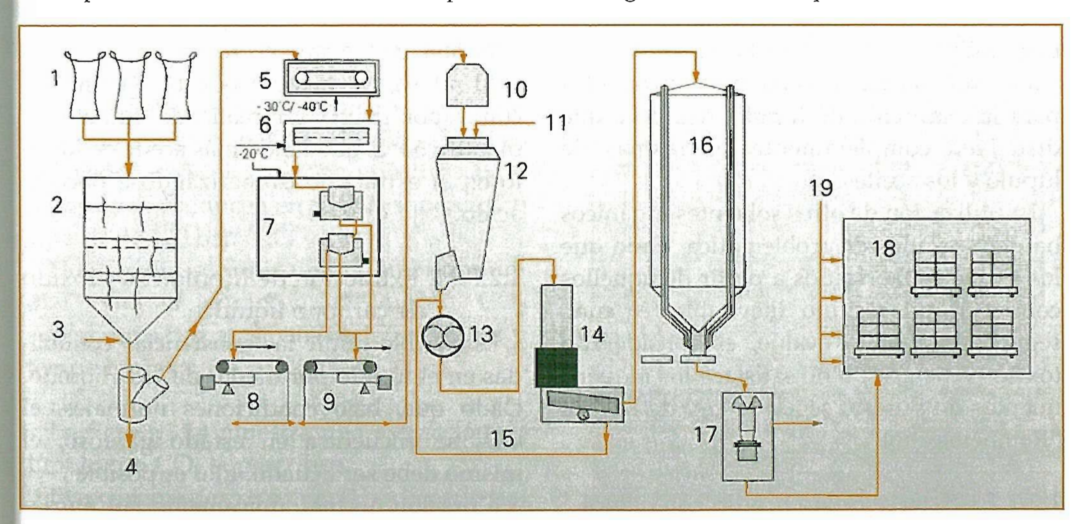


Figura 1.13b
Fabricación de pellets isomerizados
(1) mezcla de lotes de lúpulo, (2) secado del lúpulo crudo, (3) aire caliente a 50°C, (4) separación de cuerpos extraños (piedras, tallos), (5) ultracongelamiento, (6) trituración, (7) separación en dos porciones, por tamiz, (8) brácteas de lúpulo, (9) lupulina, (10) molienda, (11) recipiente de mezcla, (12) adición de óxido de magnesio, (13) pelletización, (14) enfriamiento y cribado de los pellets, (15) abrasión por cribado, (16) homogeneización de los pellets, (17) embalaje, (18) cámara térmica, (19) aire caliente a 50°C

De lo contrario se producirá con el tiempo una pérdida de valor.

Debido a la Ley de Pureza "Reinheitsgebot", no está permitida la utilización de pellets isomerizados.

1.2.7.2 Extractos de lúpulo

Bajo extracción se entiende la disolución de componentes particulares de un sólido con ayuda de solventes adecuados. Sin embargo, en la industria alimentaria generalmente no se conforman con el proceso de disolución, sino que se concentran los líquidos al nivel requerido, por evaporación del solvente. Con esto, el solvente cumple la función de extraer substancias del sólido, sirviendo así únicamente como medio de transporte.

Hoy en día se utilizan preferentemente CO_2 líquido o etanol como solventes para la fabricación de extracto de lúpulo, luego de haber discontinuado la extracción con cloruro de metileno, usual durante largo tiempo, por motivos medioambientales. Ambos solventes son particularmente muy apropiados para la extracción de lúpulo, debido a que disuelven completamente las resinas de lúpulo y los aceites.

La utilización de otros solventes orgánicos ha demostrado ser problemática, dado que los extractos fabricados a partir de aquéllos contienen un residuo inevitable, el cual, según cómo se lo evalúe, es considerado tóxico (venenoso) o no satisface los requerimientos de pureza, según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

1.2.7.2.1 Extracción de lúpulo con etanol

La extracción de lúpulo con etanol tiene lugar en forma continua, de manera que el lúpulo comercial es suministrado a través de un dispositivo de remoción de objetos pesados y separador de metales, y luego es mezclado en un mezclador helicoidal con etanol al 90%. La mezcla de lúpulo y etanol es bombeada, a través de un molino húmedo, a un extractor por contracorriente y multietapas, que opera de forma continua. En contracorriente al lúpulo, fluye permanentemente alcohol, el cual se enriquece así con las substancias contenidas en el lúpulo. Las heces de lúpulo prácticamente lixiviadas salen de la instalación y son deshumedecidas, mientras que la solución alcohólica, que ahora se llama miscela, contiene todas las substancias valiosas.

La miscela debe ser concentrada ahora hacia el extracto de etanol. Esto ocurre en una planta multietapas de evaporación al vacío con concentrador. De esta planta se obtiene un extracto crudo concentrado. En una etapa posterior de tratamiento se realiza una reducción adicional del contenido de alcohol y la separación en extracto de resinas y extracto de agua caliente.

En un proceso siguiente de columna de lavado, el alcohol es extraído completamente con vapor de agua. Este proceso de columna de lavado es realizado en vacío (120 mbar), de manera que el tratamiento con vapor pueda ser realizado cuidadosamente a 60°C, quedando más aceite de lúpulo en el extracto e isomerizándose poco a-ácido.

1.2.7.2.2 Extracción de lúpulo con dióxido de carbono líquido

Es posible diluir las substancias contenidas en el lúpulo por medio de CO_2 líquido. Dado que, bajo condiciones normales, el CO_2 se encuentra en estado gaseoso, el mismo debe ser licuado. Ello es posible

- a presión normal, únicamente por enfriamiento extremo, o
- a temperatura normal, por medio de un importante incremento de presión.

En la extracción con CO_2 líquido se trabaja a temperaturas alrededor de 20°C y presiones de aproximadamente 70 bar. Aquí el CO_2 líquido se satura en un recipiente de extracción con las substancias contenidas en

el lúpulo. En un segundo recipiente, el CO_2 se evapora, dejando el extracto no volátil de lúpulo.

El CO_2 evaporado es luego otra vez comprimido y licuado, por medio de energía mecánica, y retornado nuevamente al proceso.

Se requieren aproximadamente 20 kg de CO_2 líquido por cada kg de lúpulo. El gasto de energía es mayor con este método, por lo cual éste es más caro. Sin embargo, el producto es muy limpio y aproximadamente un tercio de la cosecha de lúpulo es extraído con este método.

1.2.7.2.3 Extracción de lúpulo con CO_2 supercrítico

En principio, hay dos estados del CO_2, en los cuales es posible una extracción: la presión crítica del CO_2 se encuentra en 73 bar, la temperatura crítica en 31°C. Por encima de esta presión y por debajo de esas temperaturas, el CO_2 se encuentra en estado líquido, pero está muy limitado en las propiedades disolventes.

Por encima del punto crítico se habla de CO_2 supercrítico o CO_2 fluidificado. Las propiedades disolventes significativas para nosotros se producen en el CO_2 supercrítico a partir de 120 bar.

Hoy en día se utiliza en el ámbito mundial, para la extracción de lúpulo, CO_2 supercrítico con presiones de 150 a 300 bar y temperaturas de 32 a 100°C.

La figura 1.14 muestra una extracción de lúpulo con CO_2 supercrítico:

El recipiente de extracción (1) es llenado con el lúpulo pelletizado a ser sometido a extracción. La presión en el recipiente es incrementada hasta la presión de extracción. Del tanque de trabajo (2) se succiona CO_2 líquido a una presión de 60 a 70 bar y se lo comprime (3) hasta la presión de extracción. En el intercambiador de calor (4) se ajusta la temperatura de extracción y se bombea el CO_2 supercrítico a través del recipiente de extractos. Aquí se disuelven en el CO_2 los compuestos amargos y aromáticos. El CO_2 enriquecido con estos últimos llega al recipiente de separación (5). Previamente, la presión es reducida a un rango entre 60 a 80 bar por medio de la válvula de expansión (6) y se evapora el CO_2 en el intercambiador de calor (7). Pero con esto, el CO_2 pierde su propiedad disolvente, separándose el extracto (5). El CO_2 en estado gaseoso es licuado en el condensador (8), alcanzando nuevamente el circuito de extracción.

Todo el proceso de extracción es realizado por lotes; la mayoría de las plantas de extracción disponen de varios extractores. En la extracción de alta presión se pueden modificar las propiedades disolventes por variación de presión y temperatura. Tanto las oxidaciones como los impactos medioambientales están excluidos; los componentes aromáticos son obtenidos sin que queden residuos.

La extracción por CO_2 es la usada hoy en día.

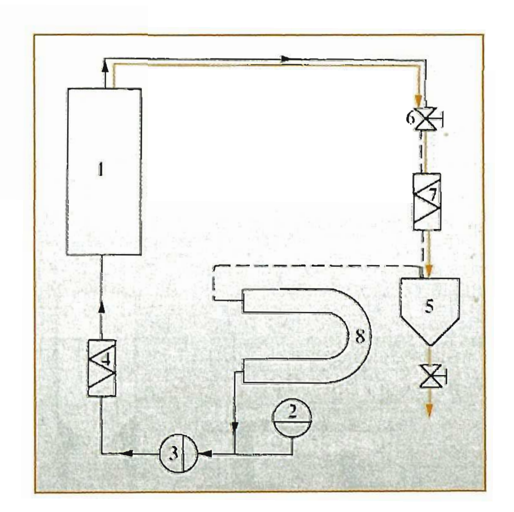


Figura 1.14
Extracción de lúpulo con CO_2 supercrítico
(1) recipiente de extracción, (2) tanque de trabajo, (3) compresión, (4) intercambiador de calor, (5) recipiente de separación, (6) válvula de expansión, (7) intercambiador de calor, (8) condensador

1.2.7.2.4 Polvo de extracto de lúpulo

Bajo esta denominación se entiende un extracto de lúpulo que ha sido pulverizado sobre silicagel. Para que este polvo de extracto de lúpulo sea susceptible de corrimiento, se requieren porciones de 30 a 40 % de silicagel, como mínimo. En lugar del silicagel, pueden utilizarse también polvo de lúpulo o pellets de lúpulo; en estos casos la porción del polvo o de los pellets debe ser mayor, dado que éstos no pueden absorber tanto extracto y, en caso contrario, el polvo se pone pegajoso, perdiendo su susceptibilidad de corrimiento.

1.2.7.2.5 Extracto de lúpulo isomerizado

Es posible isomerizar el extracto de lúpulo. Debido a la isomerización ya realizada, se puede adicionar el extracto de lúpulo isomerizado en diferentes etapas del procesamiento. De este modo, el porcentaje de aprovechamiento llega hasta el 95%, mientras que en la utilización de lúpulo natural o pellets únicamente puede ser aprovechado el 25 a 30%, porque los productos intermedios se separan nuevamente durante el proceso de fabricación de cerveza.

El extracto de lúpulo isomerizado causa muy bajos costos de almacenamiento y transporte y se mantiene, cerrado, durante dos años, sin pérdida de calidad. Luego de la dilución, se lo puede dosificar fácilmente, y permite una graduación exacta del valor de amargor en la cerveza. En el caso de combinárselo con otros productos de lúpulo, la porción de extracto isomerizado debería ser del 30 a 40%.

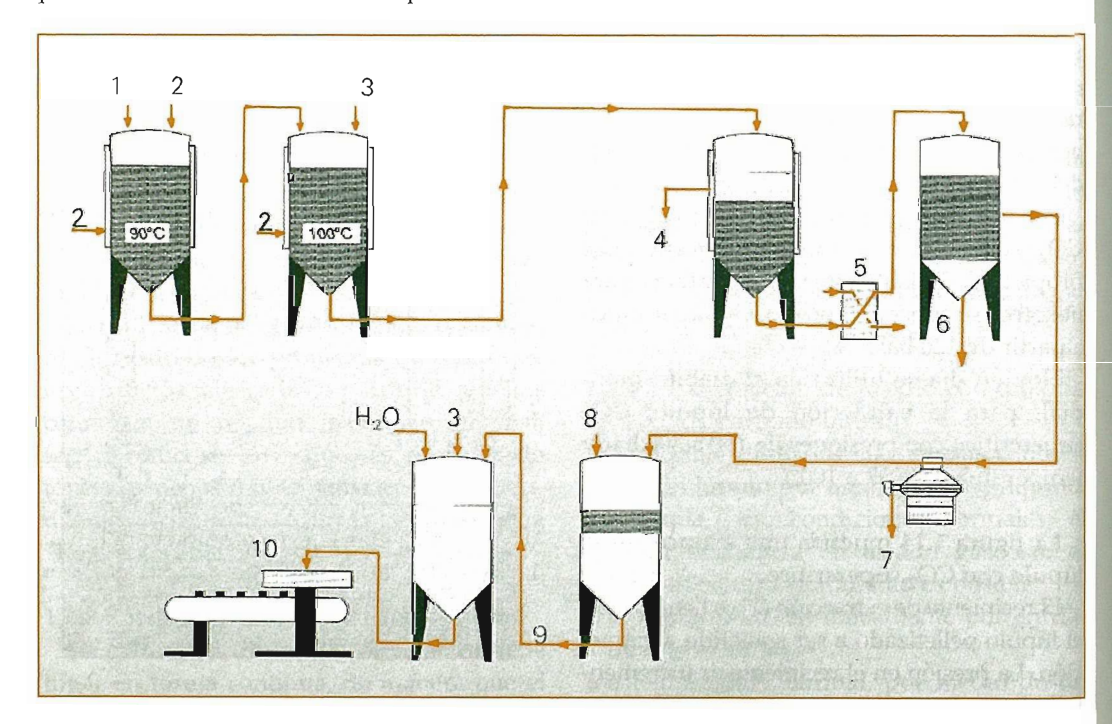


Figura 1.14a Fabricación de extracto de lúpulo isomerizado
(1) agua desgasificada, (2) vapor, (3) adición de carbonato potásico, (4) separación de resinas blandas, (5) enfriamiento, (6) separación de beta-ácidos, (7) separación de alfa-ácidos no isomerizados, (8) adición de ácido, (9) precipitación de isohumulona libre, (10) extracto (20/30%) estandarizado isomerizado, y envasado del extracto isomerizado

Observación: No está permitida la utilización de extractos isomerizados, si se trabaja según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

Fabricación de extracto de lúpulo isomerizado

Para la fabricación de extracto isomerizado se utiliza extracto obtenido con CO_2 (Figura 1.14a). El extracto es calentado y emulsionado con agua desgasificada (1). Se sigue calentando esta emulsión (2) y se la isomeriza por adición de un catalizador básico (3). Esta isomerización debe ser controlada. Luego de la isomerización, son separadas (4) las ceras de lúpulo y las resinas blandas, no características, que no son de interés para un procesamiento posterior, se enfría (5) la solución y se la regula a un valor de pH de 7 a 8. Aquí, precipitan y son separados los β-ácidos (6). Por medio de un desplazamiento adicional del pH a un valor de 5 a 6, precipitan los α-ácidos no isomerizados y son separados en un separador (7).

Los iso-alfa-ácidos libres son ahora precipitados por medio de un descenso radical del valor pH a pH $_2$ (9) y son almacenados en esta forma hasta la confección final. Recién poco antes del suministro a la fábrica de cerveza se convierte el iso-alfa-ácido en la sal de potasio (3), procediéndose luego a la obtención –con agua destilada– de la concentración para la venta y al envasado (10).

1.2.7.2.6 Extracto tetrahidro-iso

En el extracto tetrahidro-iso se isomeriza y se reduce completamente el α-ácido del extracto obtenido por CO_2, tal como en el extracto iso reducido.

La utilización de estos extractos ofrece las siguientes ventajas:

- no se produce sabor a cerveza asoleada (ver Sección 4.6.3)
  De esta manera, ya no es posible un deterioro en el sabor de la cerveza, debido a la acción de la luz, aun con un envasado en botellas de cerveza incoloras.
- Se mejora notablemente la estabilidad de la espuma en las cervezas fabricadas con este extracto.
- Este extracto es muy fácil de utilizar y, debido a su aprovechamiento eficiente de los compuestos amargos, es un producto económico, el cual también tiene su precio debido a su fabricación complicada.

El extracto tetrahidro-iso produce un amargor más suave; el extracto hexahidro-iso mejora notablemente la espuma, pero también modificando levemente el sabor.

El extracto rho-iso se fabrica de manera similar.

1.3 Agua

Cuantitativamente, el agua es la mayor porción de materia prima usada para la fabricación de cerveza. Sin embargo, solamente una parte de la cantidad de agua requerida es usada directamente en la cerveza, mientras que otra parte se requiere para limpieza, enjuague y otros propósitos.

La obtención y el tratamiento del agua son de particular importancia para el cervecero, dado que la calidad del agua influye sobre la calidad de cerveza fabricada a partir de aquélla.

1.3.1 Ciclo del Agua

El agua está envuelta en un ciclo permanente en la tierra: el sol evapora el agua de las superficies acuáticas y del suelo, volviendo la misma a la Tierra como nieve o lluvia. La cantidad de precipitaciones depende en grado sumo de las condiciones climáticas.

Aproximadamente, el 50 % de la cantidad precipitada se evapora directamente o es absorbida por las plantas y evaporada luego por éstas. El resto se escurre en su mayor parte sobre el suelo y solamente una pequeña parte se infiltra en capas más profundas del suelo, donde se acumula como agua subterránea.

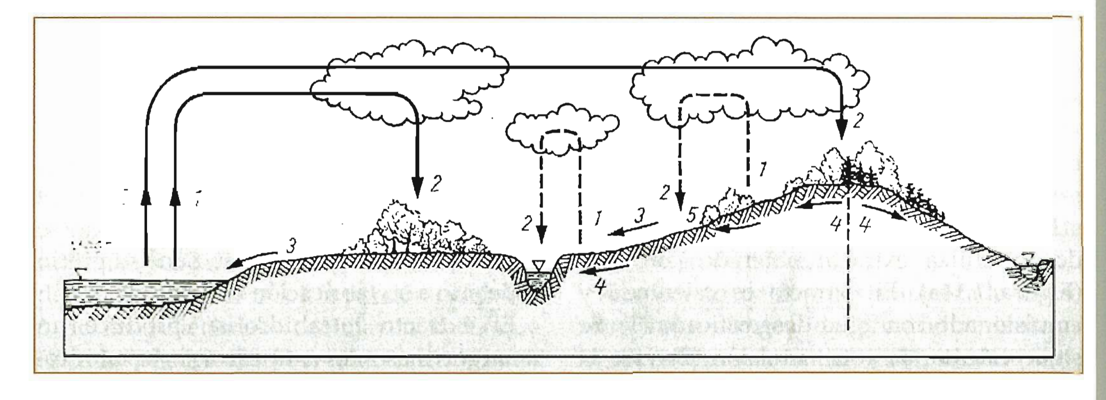


Figura 1.15 Ciclo del agua
(1) evaporación, (2) precipitación, (3) escurrimiento superficial, (4) escurrimiento subterráneo, (5) manantial

La disponibilidad de agua y la utilización de agua difieren mucho en las diferentes cuencas de río y están sujetas a grandes variaciones durante el año. Mientras que en los calurosos meses de verano hay una escasez crónica de agua en muchas zonas, fluyen grandes cantidades de agua sin ser usadas al mar, luego de fuertes precipitaciones pluviales o cuando se produce el derretimiento de nieve.

El requerimiento de agua potable se incrementó permanentemente en las últimas décadas, debido a la continua modernización de los hogares, la industrialización en aumento y el requerimiento por parte de la agricultura. Por otro lado, los costos relacionados con la obtención y el tratamiento tanto del agua como de las aguas residuales obligan a una utilización económica del agua, tanto en los hogares como en la producción.

Al mismo tiempo son cada vez mayores los requisitos en cuanto a la calidad del agua potable. Para la fabricación de cerveza es una condición básica que el agua tenga calidad de agua potable. Aparte de ello, resultan de la fabricación de cerveza requisitos adicionales en lo que respecta a la calidad del agua.

Básicamente, valen en Alemania, para cualquier agua utilizada en la fabricación de cerveza, las normas de la Disposición de Agua Potable (TrinkwV) (Alemania). Al respecto, hay información más detallada en la Sección 1.3.4.

1.3.2 Consumo de agua fresca en la fábrica de cerveza

Debido a los crecientes costos para la obtención del agua fresca y la eliminación de aguas residuales, las fábricas de cerveza están obligadas a minimizar el consumo de agua. El consumo de agua fresca en las fábricas de cerveza varía en promedio entre 5 y 8 hl/hl de cerveza lista para la venta. Sin embargo, las fábricas de cerveza pequeñas consumen, por lo general, más agua que las más grandes (figura 1.15a) [234, 235], cuyo consumo de agua es, en algunos casos, menor que 3,5 hl/hl de cerveza lista para la venta.

Según Koller [225], se puede asumir en las diferentes secciones el siguiente consumo de agua, por hl de cerveza lista para la venta:

Sección de la planta	Consumo de agua en hl/ hl de cerveza lista para la venta
Sala de cocción hasta enfriamiento del mosto	1,80 - 2,20
Cava de fermentación y tratamiento de levadura	0,50 - 0,80

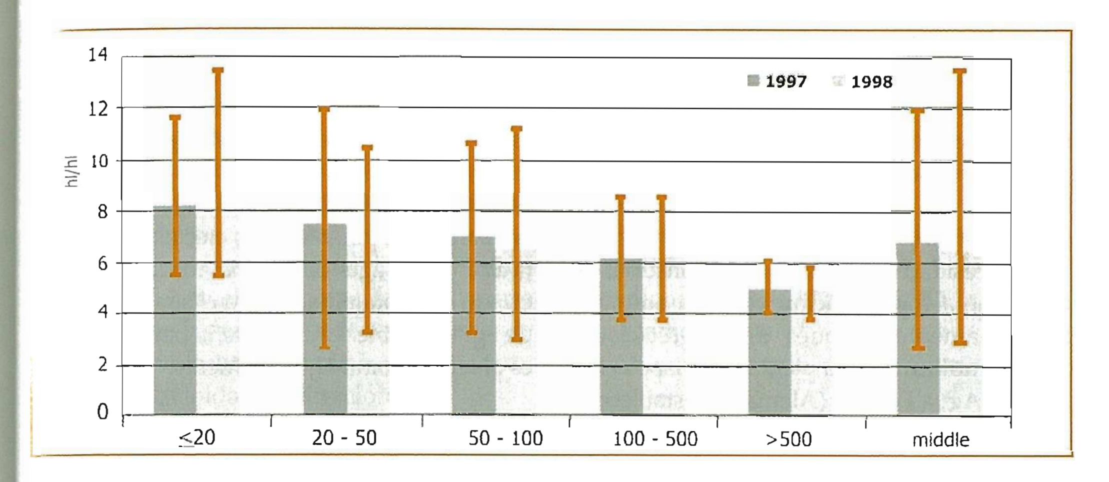


Figura 1.15a
Consumo específico de agua, según los tamaños de planta
Producción en hl: (1) menor que 20.000; (2) 20.000 - 50.000; (3) 50.000 - 100.000 (4) 100.000 - 500.000; (5) mayor que 500.000; (6) Valor medio

líneas con cotas = valores máximos/mínimos

Sección de la planta	Consumo de agua en hl/ hl de cerveza lista para la venta
Bodega de maduración	0,30 - 0,60
Sala de filtros y sala de tanques para envasado	0,10 - 0,50
Envasado (70% en botellas)	0,90 - 2,10
Embarrilado (30% en barriles)	0,08 - 0,24
Otros trabajos de limpieza, incluyendo administración	1,00 - 3,00
Caldera de vapor	0,10 - 0,30
Compresores de aire	0,12 - 0,50
Consumo total de agua	4,90 - 12,64

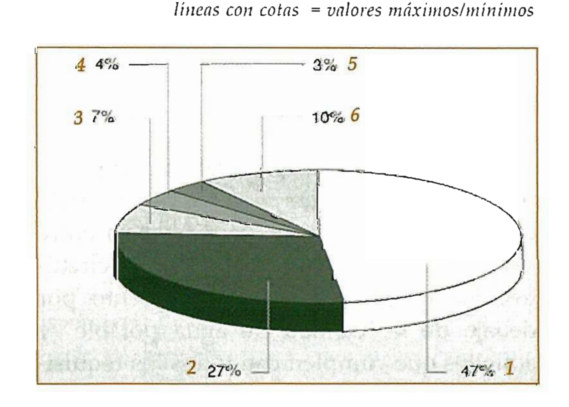


Figura 1.15 b
Consumo de agua fresca, según la aplicación
(1) limpieza y desinfección; (2) mosto frío; (3) tratamiento de agua; (4) productos secundarios; (5) condensado de vapores; (6) otros puntos de consumo

Otros estudios realizados, según la aplicación, en una fábrica de cerveza con un consumo de agua 4,08 hl/hl de cerveza lista para la venta muestran las siguientes porciones en el consumo (Figura 1.15b) [236]:

Los costos de agua fresca son hoy en día (2002), en promedio, de 1,80 €/m³ y la tasa de agua residual se encuentra entre 3,50 y 7,20 €/m³. Dado que, para la fabricación de cerveza, se requiere relativamente mucha agua, ésta se ha convertido en un importante factor de costos. Por ello, es de interés reducir el consumo de agua, tanto como sea posible.

Asimismo, hemos visto que en la temporada cálida el agua puede escasear en algunas regiones. Ello también obliga a un consumo económico del agua. En los capítulos particulares se detallará más al respecto.

Reciclado del agua

La necesidad de reducción del consumo de agua trae a consideración volver a emplear, necesariamente después de un reciclado, agua ya utilizada en la planta. La Disposición 2000 de Agua Potable (Alemania) establece al respecto en el § 10 (1):

La autoridad competente puede permitir, para algunas plantas productoras de alimentos, que se utilice para determinados fines agua que no cumpla con los requisitos de calidad de §§ 5 a 7 ó § 11 (1) siempre que se asegure que los alimentos fabricados o tratados en la planta no sean afectados por la utilización del agua, de manera tal que por su consumo se pueda temer un daño a la salud humana.

Esto significa que, con respecto a la aptitud de aprobación de procesos de reciclado de agua de proceso, no se diferencia entre los procesos que, dentro del marco de circuitos de agua, realizan un tratamiento por debajo de la "calidad de agua potable" y aquellos que cumplen con todos los requisitos de la TrinkwV 2001 (Disposición 2001 de Agua Potable (Alemania)), respecto de valores límite microbiológicos y químico-físicos [218]. De acuerdo con esto, para un reciclado de agua de proceso es condición que haya en todos los casos un programa de control microbiológico y químico, el cual es monitoreado por la autoridad competente.

1.3.3 Obtención del agua

El abastecimiento suficiente de agua es uno de los requerimientos fundamentales para la vida humana, animal y vegetal. En Alemania, la mayor parte de agua potable siempre fue obtenida de las aguas subterráneas. Sólo raramente se utilizaban aguas superficiales y su filtrado de orilla como agua potable. Más tarde se comenzó con la construcción de las primeras centrales abastecedoras de agua subterránea y, muy pronto después, con los primeros emprendimientos de construcción de embalses para agua potable, a los efectos de obtener la abundante agua superficial resultante en un estado no contaminado para el abastecimiento de agua potable. Una pequeña parte del agua es obtenida como agua de fuente.

1.3.3.1 Extracción de agua subterránea

Como agua subterránea se denomina aquella parte del agua que se escurre en el suelo. El escurrimiento es dependiente de la constitución y de la formación del suelo, de la duración y de la intensidad de las lluvias.

Las diferentes especies de rocas que componen el suelo le ofrecen al agua que escurre resistencias, que difieren en intensidad. De acuerdo con la diferente formación de poros, los estratos del suelo absorben el agua (estratos acuíferos) o la retienen (estratos impermeables). El agua percolante desciende en pendiente natural hasta un estrato impermeable (por ejemplo roca arcillosa, arcilla esquistosa, marga, granito, sienita y otros) y llena los poros del estrato acuífero, que se encuentra encima de éste (por ejemplo arena, grava, arenisca, cal, yeso, loess y otros). El agua se llama ahora agua subterránea y su superficie es el nivel de la capa freática. Durante el paso a través de los estratos acuíferos, se disuelven en el agua sales del suelo. Por ese motivo, se modifica la calidad del agua.

La altura del nivel de la capa freática puede estar sujeta a grandes variaciones. El nivel de la capa freática sube, debido a las precipitaciones que varían fuertemente en intensidad, según la temporada. Y baja por escurrimientos naturales (arterias y ríos de agua subterránea, fuentes) y por extracción mediante instalaciones de pozos. Como consecuencia de la creciente necesidad de agua y, relacionado

con ello, de la creciente extracción permanente de agua subterránea, han bajado los niveles de las capas freáticas en algunos países a límites preocupantes. Un verano abundante en lluvias tampoco eleva de forma importante el nivel de la capa freática, dado que la evaporación del agua, por parte de las plantas, consume la mayor parte de las precipitaciones. La elevación del nivel de la capa freática ocurre sobre todo en la época libre de vegetación y de heladas, entre octubre y marzo.

El agua obtenida por filtración de orilla ocupa un lugar entre el agua superficial y el agua subterránea. Bajo ello se entiende agua de río, que fue filtrada más o menos bien por las capas acuíferas de las orillas del río. El agua obtenida por filtración de orilla varía en su composición como el agua de río, dado que las substancias disueltas no son filtradas.

La extracción del agua subterránea se realiza

- predominantemente por medio de pozos entubados
- pozos filtrantes llanos
- raramente a través de viejos de pozos cilíndricos
- en algunos casos, el agua sale a la superficie como fuente.

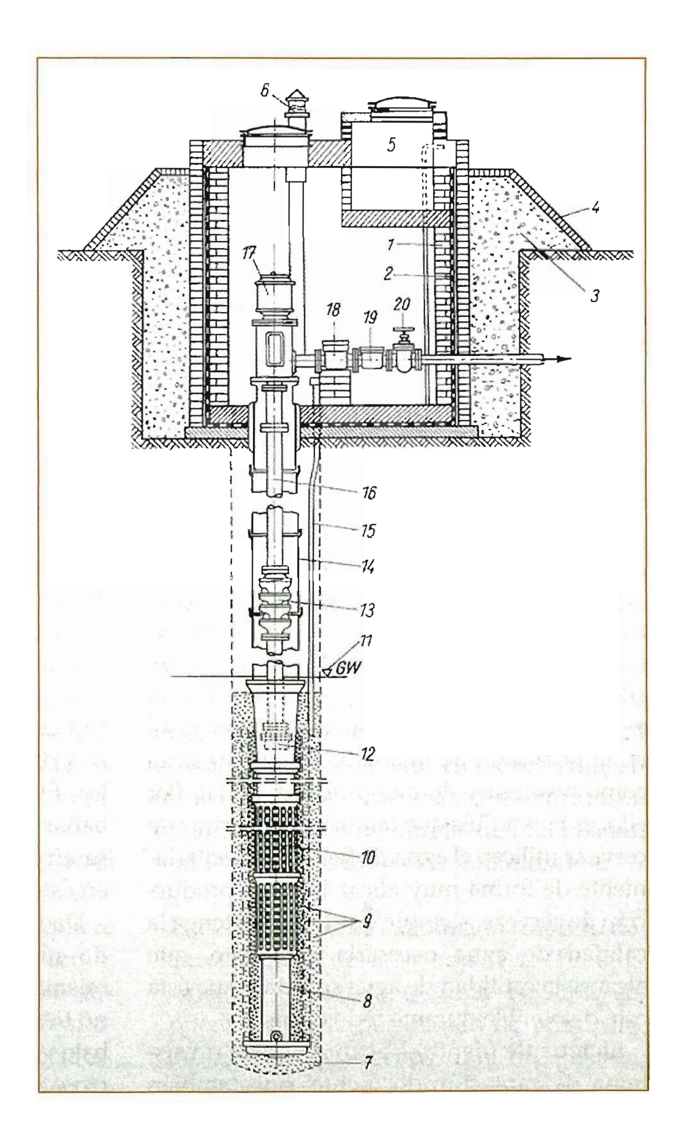


Figura 1.16 Pozo perforado
(1) cámara de captación
(2) aislamiento
(3) terraplén
(4) recubrimiento de pasto
(5) sala de control
(6) ventilación
(7) punta de la perforación
(8) tubo de gres
(9) relleno de grava para filtración
(10) tubo filtrante de gres
(11) nivel de la capa freática
(12) boca de succión
(13) bomba centrífuga
(14) tubo sobrepuesto de gres
(15) tubo de sonda
(16) tubo elevador
(17) motor
(18) medidor de agua
(19) válvula de retención
(20) válvula compuerta

Bajo pozo entubado se entienden plantas de extracción de agua, que extraen el agua a través de una perforación vertical. Las paredes del pozo entubado están formadas por caños perforados. Los pozos entubados son perforados en la tierra hasta profundidades mayores que 300 m y, debido a su gran longitud de filtración, cubren el estrato acuífero en toda su longitud. Por este motivo, son de gran rendimiento.

El agua contiene tanto menos microorganismos, cuanto mayor es la profundidad de la cual es obtenida. Ello se debe a que, durante el pasaje a través de las capas del suelo, tiene lugar una filtración que la mejora biológicamente. Esto no vale, sin embargo, para zonas rocosas.

El agua es suministrada por bombas. Dado que las bombas centrífugas tienen una altura de aspiración muy limitada de 6,50 m, el suministro de agua es realizado por medio de una bomba de agotamiento (Figura 1.16) o de una bomba sumergible, en la cual la bomba y el motor están unidos, formando un equipo estanco que trabaja sumergido en el agua.

1.3.3.2 Extracción de agua de fuente

Una fuente puede formarse cuando el agua subterránea sale sin ayuda a la superficie, debido a desnivelaciones en la formación del suelo. Es por ello que las fuentes se originan en zonas montañosas. El agua de fuente goza en la población de una fama que la presenta como preciosa y de una pureza especial. Por ello, es entendible que también las fábricas de cerveza utilicen el agua de fuente publicitariamente de forma muy eficaz para su producción de cerveza, siempre que la fuente tenga la calidad de agua necesaria para esto, que alcance la cantidad de agua surtida y que ésta esté disponible durante todo el año.

El agua de fuente es acumulada en un sistema de captación de fuente, que también protege las inmediaciones de la fuente contra influencias negativas.

1.3.3.3 Extracción de agua superficial

El agua superficial puede ser obtenida de ríos y lagos y, cada vez en mayor medida, de embalses. El agua de río está contaminada siempre por las descargas de aguas residuales de las industrias y de las ciudades. El tratamiento de agua de río es dificultoso y, en lo posible, se desiste de una utilización de agua de río por motivos de higiene. Si es necesario tomar el agua de río, la toma de la misma es realizada aguas arriba de las zonas pobladas y de la descarga de aguas residuales. La toma se realiza entonces en los recorridos rectos de la orilla en el lado exterior de los recodos de río, debido a que esas partes están menos contaminadas.

La construcción de embalses en el curso superior de los ríos gana cada vez mayor importancia. Por medio de embalses es posible regular las cantidades de agua a evacuar, impedir inundaciones, obtener aguas superficiales relativamente limpias y utilizar una parte de agua contenida para la generación de energía eléctrica.

Los embalses están ubicados en el curso superior de los ríos. En un sitio geológicamente favorable, el valle es bloqueado por un muro de embalse de manera tal de formar un gran reservorio. Para los embalses de agua potable es necesario que la cuenca de captación se encuentre sin industrias o usuarios de agua que produzcan aguas residuales. Es por ello que está también prohibido bañarse en los embalses. El agua que ingresa en el embalse permanece algunos meses en éste, purificándose durante ese tiempo.

Dado que el agua superficial no ha entrado aún en contacto con sales del suelo, la misma contiene muy pocas sales. Por ello, no tiene capacidad de regulación y tiene un bajo valor de pH, que la hace agresiva al hierro y al acero.

1.3.3.4 Importancia del autoabastecimiento de agua

¡El agua cuesta dinero! Por ello, es entendible que muchas fábricas de cerveza tengan su propia planta de obtención de agua. Por lo general se trata de varios pozos, de los cuales se extrae el agua, o un sistema de captación de fuente. Debe prestarse atención, en ese caso, a que esté asegurado un flujo uniforme de agua durante todo el año. Naturalmente, se pone entonces énfasis en que el agua propia suministrada tenga propiedades muy especiales.

1.3.4 Requisitos que debe cumplir el agua

El agua suministrada en las plantas no siempre se corresponde con los requisitos cualitativos; al menos hay que controlar invariablemente el agua, respecto del mantenimiento de ciertos parámetros, a los efectos de cumplir con todos los requisitos.

Primeramente, el agua para cerveza debe tener la calidad de agua potable correspondiente a la Disposición de Agua Potable y con ello debe cumplir con todo lo que se exige de un agua potable, en lo referente a lo sensorial, físico-químico, microbiológico y químico. Aparte de ello, debe cumplir también con una serie de requisitos de tecnología cervecera, las cuales pueden tener una influencia positiva sobre la fabricación de cerveza. En Alemania, rige desde el 1/1/2003 la Disposición 2003 de Agua Potable TrinkwV 2003 [218].

1.3.4.1 Requisitos que debe cumplir el agua como agua potable

La Disposición de Agua Potable requiere del agua potable que sea incolora, inodora y libre de substancias enturbiantes. En las directivas de la Unión Europea y la Disposición del Agua Potable están establecidos, con respecto al contenido y composición de las substancias disueltas en el agua, los correspondientes valores límite para las substancias individuales [134, 218], los cuales mostramos aquí sólo de forma fragmentaria:

Parámetro	Valor límite mg/l
Nitrato	50
Nitrito	0,5
Plomo	0,01
Cobre	2
Níquel	0,02
Productos pesticidas y biocidas	0,0001
Benceno	0,001

También son altos los requisitos respecto de la constitución microbiológica del agua.

El agua potable es el alimento más importante y por ello se pone el mayor de los énfasis en su pureza.

El agua contiene casi siempre algunos microorganismos, de los cuales naturalmente no se puede decir, sin largos ensayos, si son inocuos o patógenos. La mayor parte de las bacterias del agua no es patógena. ¿Pero cómo se puede determinar esto?

Los gérmenes patógenos sólo pueden provenir de seres humanos o de los animales, que tuvieron estos agentes patógenos en sus cuerpos y que los han evacuado de estos últimos. En el intestino grueso de los seres humanos y animales de sangre caliente se encuentra, sin embargo, una bacteria en cantidades masivas, la cual es inofensiva pero fácil de detectar –*Bacterium Escherichia coli*– y que sirve así como prueba de una posibilidad de transmisión y de contaminación.

Por ello, el agua es examinada respecto de su contenido de *Escherichia coli (E. coli)*. Ante la presencia de esta bacteria se puede inferir la posibilidad de presencia de agentes patógenos con un posible resultado epidémico. Junto con las bacte-

rias de *E. coli,* también los enterococos y las bacterias coliformes pueden dar indicaciones respecto de la presencia de gérmenes patógenos.

La "Disposición (alemana) sobre la Calidad del Agua para Uso Humano" (Disposición de Agua Potable - TrinkwV 2001) dice lo siguiente en el §5 - Requisitos microbiológicos:
(2) En el agua para el uso humano no deben ser excedidos los siguientes valores límites para los parámetros microbiológicos, establecidos en el Anexo 1 Parte I.
Allí está establecido que en 100 ml de agua no debe detectarse ninguna bacteria de Escherichia coli, enterococos o bacterias coliformes.

La Sección 1.3.5 informa sobre los procesos necesarios para el tratamiento del agua.

1.3.4.2 Requisitos que debe cumplir el agua como agua para cerveza

En el agua siempre hay sales disueltas. Dado que están muy diluidas, no se encuentran presentes como sales, sino que está casi totalmente disociadas en iones. Por ello, es más correcto hablar de iones disueltos.

La mayor parte de estos iones no reacciona con los componentes de la malta, durante la maceración, donde entran en contacto por primera vez. Otros, sin embargo, reaccionan con determinados componentes de la malta. De acuerdo con ello, se distingue entre

- iones químicamente inactivos, y
- iones químicamente activos.

▶ Iones químicamente inactivos

Bajo iones químicamente inactivos se entienden todos aquellos que no entran en reacción química con los componentes de la malta, sino que pasan sin modificaciones a la cerveza. Si están presentes en grandes concentraciones, pueden causarle a la cerveza modificaciones positivas o negativas de sabor. Así, un contenido de cloruro de sodio (NaCl) da el toque justo al sabor. El cloruro de sodio, el cloruro de potasio (KCl), el sulfato de sodio (Na_2SO_4), el sulfato de potasio (Na_2SO_4) y otros pertenecen a las sales químicamente inactivas.

Sin embargo, algunos de estos iones químicamente inactivos tienen una influencia sobre distintos procesos, durante la fabricación de cerveza. La inactividad química de los iones enumerados a continuación se refiere, sin embargo, a su indiferencia frente a los componentes de la malta, con los cuales pueden entrar en contacto durante la producción del mosto.

▶ Iones químicamente activos

Por el contrario, una serie de iones de agua para cerveza reaccionan en la maceración con componentes de la malta y tienen influencia, por transformación, sobre el valor ácido (valor pH) durante la fabricación de cerveza.

▶ El valor pH

El agua químicamente pura no está compuesta únicamente por moléculas de agua, sino que una muy pequeña parte se encuentra disociada electrolíticamente.

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

El agua reacciona de forma neutral porque la concentración de iones H^+ equivale a la de iones OH^-: en 1 l de agua a 25°C hay contenidos

10^{-7} iones H, es decir, un diezmillonésimo gramo de iones H^+, y
10^{-7} iones OH, es decir, un diezmillonésimo gramo de iones OH^-.

Si, por la adición de un ácido, se incrementa la porción de los iones H^+, se reduce la porción de iones OH^-, según la Ley de Acción de las Masas. Al revés, se incrementa la porción de iones OH^- por adición de bases e hidróxidos, mientras que disminuye la porción de iones H^+.

Toda solución acuosa contiene entonces iones H^+ y OH^-, sin importar, si se trata del ácido o la base más fuertes. Sin embargo, la porción de ambos iones es diferente para cada uno de los casos. Únicamente en el agua neutra, las porciones de ambos iones son iguales. El producto de la concentración de iones H^+ y OH^- es siempre el mismo.

El carácter de una solución es definido por la concentración de iones H^+.

La concentración de iones H^+ en la solución es expresada como potencia de diez. Dado que de ese modo resultarían números muy largos con hasta 14 decimales, se indica únicamente la potencia negativa de diez, expresándola como valor pH.

El valor pH es el logaritmo decimal negativo de la concentración de iones de hidrógeno en una solución (-lg cH^+).

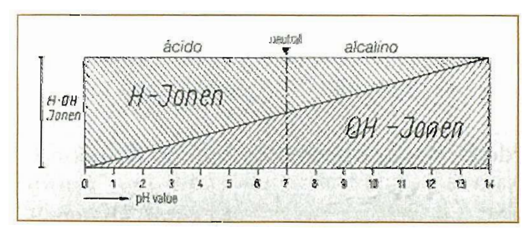


Figura 1.17 Concentración de iones H^+ y OH^-

▶ Ejemplo:

Una solución contiene 0,000000001 g de iones H^+. Expresado como potencia de diez, son 10^{-9} g de iones H^+. El pH de la solución es 9,0. Como punto neutral es considerado el valor pH del agua pura (7,07), en el cual el número de iones H^+ y el de OH^- son los mismos (figura 1.17).

De acuerdo con su reacción, las soluciones se dividen en tres grupos:

pH < 7 — reacción ácida
todos los ácidos,
por ejemplo
ácido clorhídrico HCl
ácido sulfúrico H_2SO_4 etc.
sales ácidas, por ejemplo
fosfato de potasio y dihidrógeno
KH_2PO_4

pH = 7 — reacción neutral
agua
sales neutrales, por ejemplo
cloruro de sodio NaCl
sulfato de sodio Na_2SO_4

pH > 7 — reacción básica
todas las bases, por ejemplo
hidróxido de sodio NaOH
hidróxido de calcio Ca $(OH)_2$
sales básicas, por ejemplo
carbonato sódico Na_2CO_3
carbonato potásico K_2CO_3

El valor pH es medido de forma electrométrica o (muy raramente) de forma calorimétrica y, para determinaciones aproximadas, también con tiras de papel indicador de pH, especialmente impregnadas. El valor pH de líquidos conocidos es aproximadamente:

0,1n HCl	1,0
0,1n CH_3-COOH	2,9
vino	2,8 a 3,5
cerveza blanca	3,3 a 3,7
cerveza clara	4,4 a 4,7
mosto caliente	5,4 a 5,5
agua de ciudad	7,4 a 7,8
0,1n $NaHCO_3$	7,6
0,1n Na_2CO_3	8,5
0,1n NaOH	13,0

▶ *Influencia de los iones sobre el valor pH*

El valor pH tiene una gran influencia sobre varios procesos, durante la elaboración de cerveza.

Así por ejemplo, las enzimas actúan de forma óptima solamente con un determinado valor pH, mientras que con otros valores pH su eficacia es menor. Dado que la mayoría de los procesos, que tienen lugar durante la

fabricación de malta y cerveza, son controlados enzimáticamente, es importante la influencia que tiene el valor pH sobre la calidad del producto, durante la fabricación.

El valor pH durante la fabricación de cerveza es determinado por las sales disociadas y los compuestos orgánicos contenidos en aquella. Éstas provienen del agua, de la malta, de los adjuntos y del lúpulo.

Durante la maceración se unen los iones químicamente activos, disueltos en el agua, con los componentes molidos, solubles, formando compuestos.

▶ *Debido a los iones químicamente activos, el valor pH es modificado durante la elaboración de cerveza.*

La modificación puede ser en dirección ácida o alcalina. Ya las más pequeñas modificaciones en el valor pH son importantes para la calidad de la cerveza.

▶ *La mayoría de los procesos en la fabricación de cerveza se desarrollan mejor o más rápido, cuanto más ácido sea el valor pH.*

Por eso, el valor pH debe ser tan bajo como sea posible, durante el proceso de producción. Con valores de pH más elevados, se debe contar con dificultades. Es por ello que las sales químicamente activas son divididas en iones que aumentan el valor pH y iones que disminuyen el valor pH. Dado que las sales de agua de cerveza se encuentran en su mayor parte de forma disociada, como iones, es mejor hablar de iones que aumentan el valor pH y iones que disminuyen el valor pH o de

- que facilitan la acidez = (iones) que disminuyen el valor pH, y
- que neutralizan la acidez = (iones) que aumentan el valor pH.

▶ *Dureza del agua*

La dureza del agua es formada por los iones calcio y magnesio disueltos en la misma. La indicación se realiza en grados de dureza (°dH). En Alemania, la dureza del agua se define de la siguiente manera:

Ejemplo 1: Monohidrógeno fosfato de potasio de la malta, reaccionando de forma alcalina, reacciona con sulfato de calcio neutral:

$4\ K_2HPO_4$	$+ 3\ CaSO_4$	→	$Ca_3(PO_4)_2$	$+ 2\ KH_2PO_4$	$+3\ K_2SO_4$
Monohidrógeno fosfato de potasio	sulfato de calcio		fosfato de calcio	fosfato de potasio y dihidrógeno	sulfato de potasio

El fosfato de calcio formado es insoluble. El fosfato de potasio y dihidrógeno reacciona de forma ácida, disminuyendo así el valor pH de la solución.

Ejemplo 2: Fosfato de potasio y dihidrógeno, reaccionando de forma ácida, reacciona con bicarbonato de calcio neutral:

$2\ KH_2PO_4$	+	$Ca(HCO_3)_2$	→	K_2HPO_4	+	$CaHPO_4$	$+2\ H_2O$	+	$2\ CO_2$
fosfato de potasio y dihidrógeno		bicarbonato de calcio		monohidrógeno fosfato de potasio		monohidrógeno fosfato de potasio	agua		dióxido de carbono

Del fosfato de potasio y dihidrógeno, que reacciona de forma ácida, se formó monohidrógeno fosfato de potasio, que actúa de forma básica. El valor pH aumenta.

1gdH = 10 mg CaO/l = 1 g CaO/hl o también: 7,19 mg MgO/l.

Las aguas son clasificadas de acuerdo con la dureza
(siendo 1gd = 0,357 mval/l) = 0,18 mmol/l:

con °d	Iones alcalinotérreos por l		
		mval	mmol
0,1- 4	muy blanda	0,11- 1,44	0,1-0,7
4,1- 8	blanda	1,45- 2,88	0,7-1,5
8,1-12	medianamente dura	2,89- 4,32	1,5-2,2
12,1-18	relativamente dura	4,33- 6,48	2,2-3,2
18,1-30	dura	6,49-10,8	3,2-5,3
30	muy dura	10,8	5,3

La clasificación más reciente es:
Rango de dureza 1
hasta 1,3 mmol/l = hasta 7°dH (blanda)
Rango de dureza 2
1,3 hasta 2,5 mmol/l = 7 hasta 14°dH (medianamente dura)
Rango de dureza 3
2,5 hasta 3,8 mmol/l = 14 hasta 21,3°dH (dura)
Rango de dureza 4
mayor que 3,8 mmol/l = mayor que 21,3°dH (muy dura)

Los iones que aumentan el valor pH empeoran el desarrollo de la producción y la calidad de la cerveza (ver Sección 6.4); los iones carbonato y bicarbonato actúan aumentando el valor pH.

El contenido de iones carbonato y bicarbonato en el agua se denomina dureza de carbonatos, dureza temporaria o alcalinidad total.

El efecto de incremento del valor pH, por parte de la dureza de carbonatos, es contrarrestado por el efecto de disminución del valor pH de los restantes iones calcio y magnesio, formados por cloruro de calcio, sulfato de calcio, cloruro de magnesio y sulfato de magnesio. Estas sales se incluyen bajo la denominación dureza de no carbonatos (o dureza residual, también dureza de sulfatos o de yeso, dado que una parte de la dureza es causada por estas sales).



La determinación de la dureza de carbonatos y de la dureza total se realiza de acuerdo con la norma DIN 17640.

El resultado de la competencia entre las propiedades que aumentan el valor pH y las que lo disminuyen es determinado por la alcalinidad residual (AR). Bajo alcalinidad residual se entiende aquí la diferencia entre la dureza de carbonatos (DC) y la dureza de no carbonatos (DNC), la cual es expresada con la fórmula:

$$AR = DC - \frac{\text{dureza calcárea} + 0{,}5\ \text{dureza de magnesia}}{3{,}5}$$

Cuanto mayor es la alcalinidad residual, tanto más efectiva es la dureza de carbonatos y tanto mayor será el valor pH. Por ejemplo, la alcalinidad residual no debe exceder 2°dH para la fabricación de cervezas Pilsner. En caso contrario, el agua debería ser tratada.

1.3.4.3 Importancia de determinados iones

Aparte de su importancia para la modificación del pH en el mosto y la cerveza, determinados iones son importantes en lo referente a su influencia en el sabor o a la relevancia en la salud. Algunos de ellos son tratados aquí.

El sodio (Na^+) y los cloruros (Cl^-) en cantidades mayores tienen un efecto incremental sobre la presión sanguínea. Sin embargo, son un elemento importante en forma de sal de cocina para dar el toque justo a las comidas, en lo que a sabor se refiere. Ninguna ama de casa olvida de agregar la conocida pulgarada de sal en cada comida, muchas también lo hacen en alimentos dulces. Existen muchos ejemplos de maestros cerveceros, que antaño, cuando todavía estaba permitido, agregaban a su cocción también una "pulgarada" de sal para darle el toque justo, en cuanto a sabor.

El potasio (K^+) se encuentra en el agua potable en promedio con 2 mg/l. La dosis diaria necesaria para el ser humano es de 2 g. La Disposición de Agua Potable no fija ningún valor límite para el potasio. Un contenido equilibrado de potasio es responsable de la diuresis (excreción de la orina).

El amonio ($NH4^+$) en el agua potable indica casi siempre la presencia de contaminantes. Por ello, la Disposición de Agua Potable fija un valor límite permitido de 0,5 mg NH_4^+/l.

Los nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) se encuentran en el agua subterránea, a menudo debido a la degradación de substancias orgánicas, tales como abono líquido, o por la descarga de aguas residuales domésticas. Toxicológicamente debe tenerse en cuenta que el nitrato puede ser reducido por bacterias al nitrito, cuya toxicidad es mucho más importante. Esta reacción tiene lugar en el intestino del ser humano o, en el caso de alimentos ricos en nitratos, si son mantenidos calientes durante mucho tiempo. Ello puede ser especialmente peligroso para los lactantes. Según la Disposición de Agua Potable, el valor límite para nitratos es de 50 mg NO_3/l.

Los sulfatos (SO_4^{2-}) tienen un efecto de retención de líquidos. Sobre esto se basa el efecto laxante del sulfato de magnesio y del sulfato de sodio, dado que, por la retención de líquidos en el intestino, causa un incremento de volumen y con ello una mayor presión sobre la peristáltica de aquél. La Disposición de Agua Potable permite, bajo condiciones especiales, incluso exceder el valor límite de 500 mg SO_4^{2-}/l.

1.3.5 Procesos para la mejora del agua

A menudo es necesario modificar la calidad del agua. En esto es esencial qué es lo que se debe mejorar o cambiar. El proceso de tratamiento es determinado por la aplicación. Así, por ejemplo, es totalmente irrelevante en la utilización del agua para alimentación de calderas que haya bacterias en el agua, mientras que las sales disueltas, tienen una importancia decisiva. En el agua de limpieza es más bien al revés. Por ello, se distinguen los procesos para

- separación de substancias en suspensión,
- separación de substancias disueltas
- disminución de la alcalinidad residual en el agua para cerveza,
- eliminación de microbios, y
- eliminación de gases disuletos.

1.3.5.1 Procesos para la separación de substancias en suspensión

Bajo substancias en suspensión se entienden las substancias minerales y vegetales que llegaron al agua. Usualmente su separación se realiza en dos pasos:

▶ *Clarificación en pileta de sedimentación*

Por medio de una reducción de la velocidad de flujo del agua sedimentan las substancias en suspensión arrastradas por aquélla.

Cuanto más grande es la pileta de sedimentación, tanto mayor es el efecto clarificador a igual caudal, dado que la velocidad de flujo desciende entonces a casi cero. Los embalses son también piletas de sedimentación naturales, en las cuales se separa del 60 al 70% de las substancias en suspensión.

Con la clarificación en piletas de sedimentación no se pueden separar todas las substancias en suspensión. Por ello, es necesario filtrar posteriormente el agua.

Las partículas microscópicas y las substancias enturbiantes finamente dispersas pueden ser convertidas a un estado insoluble y separable, por medio de la floculación. Como floculante se utilizan para ello sales de hierro y de aluminio. Las substancias enturbiantes precipitadas se dejan separar bien por medio de la filtración posterior.

▶ *Filtración del agua preclarificada*

En la filtración, el agua es pasada a través de una capa de arena pura de sílice calcinada, de granulación uniforme. Las partículas en suspensión quedan retenidas en los poros de la arena de sílice, durante el pasaje del agua a través de ésta.

Para los grandes caudales de las instalaciones comunales de abastecimiento de agua se utilizan filtros abiertos con superficies de hasta 150 m2. La arena de sílice ocupa aquí casi 2 m por encima de un fondo filtrante, a través del cual escurre el agua filtrada. Luego de unos días el filtro es contralavado en sentido contrario, siendo apoyado el proceso de limpieza por el pasaje de aire comprimido.

Los filtros de grava cerrados son utilizados para plantas más pequeñas, como por ejemplo en la fábrica de cerveza. La arena de sílice, con una granulometría de 0,8 a 1,2 mm, ocupa 2 m por encima de un fondo de toberas y filtra el agua que fluye de arriba hacia abajo (Figura 1.18, nueva).

Por medio de la adición dosificada de aire de oxidación y floculantes, se favorece la precipitación y separación de sales de hierro y de manganeso y de componentes orgánicos.

En el filtro de grava, el contralavado se realiza en tres etapas:

- aire,
- aire/agua
- agua

El efecto de limpieza es llevado a cabo sobre todo por el lavado con aire/agua. El contralavado es especialmente importante, a los efectos de impedir un crecimiento microbiano [159]. Pero la filtración por grava no es una esterilización.

La velocidad de filtración en filtros a presión cerrados es de 10 a 20 m^3 de agua por

Figura 1.18
Filtro de grava
(1) agua natural,
(2) aire de oxidación,
(3) floculante,
(4) filtro de grava,
(5) agua descarbonatada

1 m^2 de superficie filtrante y hora. Un incremento de la presión indica la necesidad de limpieza del filtro. El filtro es contralavado en sentido contrario y el material filtrante completo es aflojado de manera tal que también las substancias extrañas puedan ser extraídas. Del mismo modo trabajan también los filtros en las plantas descarbonatadoras.

1.3.5.2 Separación de substancias disueltas

Las sales disueltas en el agua se encuentran en forma de iones. Algunos de los iones disueltos en el agua pueden obstruir o corroer la red de tuberías con el correr de tiempo. Es por ello que deben ser separados, si se encuentran disueltos en grandes cantidades. A este grupo de substancias pertenecen las sales de hierro y de manganeso, disueltas en el agua, las cuales pueden obstruir fuertemente la red de tuberías.

La separación de hierro y manganeso sucede por aireación en forma de rociado, regado, inyección u otro tipo de aireación. De este modo, estas sales pasan a un estado insoluble, siendo precipitadas:

$$2\ Fe(HCO_3)_2 + {}^{1}/_{2}\ O_2 + H_2O \longrightarrow 2\ Fe(OH)_3 + 4\ CO_2$$

$$2\ MnCl_2 + O_2 + 4\ H_2O \longrightarrow 2\ MnO(OH)_2 + 4\ HCl$$

$$4\ FeS_2 + 3\ O_2 + 6\ H_2O \longrightarrow 4\ Fe(OH)_3 + 8\ S$$

Es necesaria una filtración posterior de las sales precipitadas como flóculos.

Aparte de esto, hay una cantidad de iones en el agua que, si bien no perturban nuestra red de tuberías, pueden, sin embargo, tener en parte una gran importancia para la fabricación de cerveza. Se distingue aquí entre sistemas de aireación abiertos y cerrados para la separación de sales de hierro y de manganeso. En los sistemas cerrados, debe prestarse atención a que la presión del aire esté por encima de la del agua.

1.3.5.3 Procesos para la mejora de la alcalinidad residual

Una mejora de la alcalinidad residual se realiza a través de su disminución. Ello puede suceder

- por disminución de la dureza de carbonatos - descarbonatación
- por aumento de la dureza de no carbonatos, o
- por neutralización. Aquí se transforma la dureza de carbonatos en dureza de no carbonatos, por medio de la adición de ácido. ¡Este último proceso no está permitido en Alemania, de acuerdo con la Ley de Pureza "Reinheitsgebot", siempre que no se utilice una acidificación biológica!

▶ *Descarbonatación*

Bajo descarbonatación se entiende la eliminación de la dureza de carbonatos. La descarbonatación puede ser realizada por:

- calentamiento,
- adición de cal apagada,
- un intercambiador de iones.

▶ *Descarbonatación por calentamiento*

Si se calienta agua que contiene carbonatos a una temperatura de 70 a 80ºC, el bicarbonato de calcio se convierte, bajo desprendimiento de dióxido de carbono, en carbonato de calcio insoluble, depositándose en las paredes del recipiente como incrustación:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{calor} CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

Este proceso tiene lugar en cualquier recipiente pequeño de agua, el cual puede presentar, luego de algún tiempo, una apreciable capa de incrustación. Con ello se perjudica el paso de calor. En el caso de las calderas de vapor, la formación de incrustación de calderas sería mucho más intensa, con peligro de explosión de la caldera. Es por

ello que el agua de alimentación de calderas debe ser previamente ablandada (por ejemplo, por medio de intercambiador de iones).

La descarbonatación por calentamiento no es tenida prácticamente en cuenta en el agua para cerveza. Este proceso es no rentable en su totalidad, dado que el agua debe ser enfriada posteriormente. Únicamente tiene la ventaja de que no requiere control alguno.

▸ *Descarbonatación por adición de cal apagada*

El método habitual de descarbonatación es la adición de cal apagada en forma de agua de cal. El hidróxido de calcio del agua de cal reacciona con el bicarbonato del agua, formando carbonato de calcio insoluble:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 \rightarrow + 2H_2O$$

Hay plantas descarbonatadoras de una y dos etapas. Las de una etapa se construyen casi siempre como descarbonatadores rápidos. Las plantas de dos etapas necesitan algo más de lugar.

La Figura 1.20 muestra una planta descarbonatadora moderna de dos etapas: En el saturador de cal se prepara una solución saturada de cal de $Ca(OH)_2$ (2) y agua natural (1), y la solución de lechada de cal es mezclada en el reactor (4) con el agua natural a ser ablandada y desciende, reaccionando, por el tubo central. El lodo de cal que se forma se deposita en el cono y debe ser extraído cada tanto, mientras que el agua clarificándose asciende lentamente, repitiendo el mismo proceso en el purificador (5) posterior. Debe tenerse en cuenta, que la composición del agua puede ser modificada a discreción, por medio de mezcla con agua natural. En el filtro de grava (6) posterior se realiza la separación completa de las substancias en suspensión, aun presentes. Respecto del funcionamiento del filtro de grava cerrado, ver Sección 1.3.4.1.

La descalcificación está muy extendida, hoy en día, y puede ser realizada en una o dos etapas. La ventaja de estos procesos es, aparte de su simpleza, que los costos de los productos químicos son bajos y que además precipitan hierro, manganeso y otros metales pesados, limpiando bien el agua de esta manera. Su desventaja es la necesaria eliminación del lodo y el ajuste de las dosis, en el caso de calidades de agua variables.

▸ *Descarbonatación por neutralización*

La dureza de carbonatos puede ser pasada sin problemas a dureza de no carbonatos, por adición de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico. La condición para ello es una dosificación precisa de la cantidad de ácido. En el proceso se forma también dióxido de carbo-

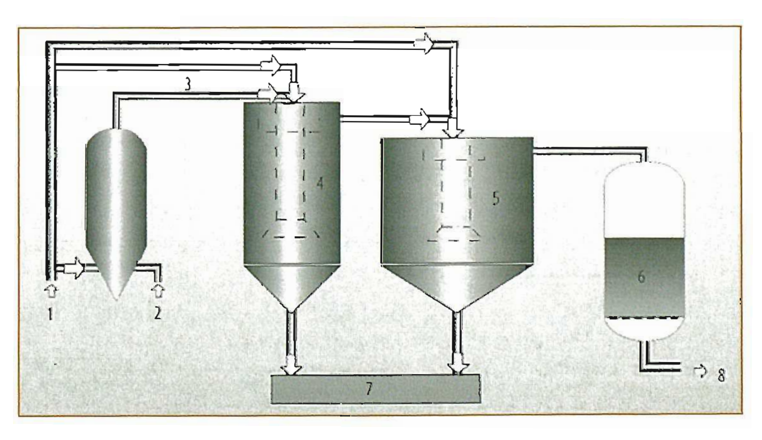


Figura 1.20
Planta descarbonatadora (precipitación en dos etapas) (1) agua natural, (2) lechada de cal, (3) saturador de cal, (4) reactor, (5) purificador, (6) filtro de grava, (7) deshidratación de lodos, (8) agua descarbonatada

no libre, que es agresivo y que debe ser neutralizado. El proceso no está permitido, de acuerdo con la Ley de Pureza "Rein-heitsgebot".

Si se acidifica de forma biológica (ver Sección 3.2.1.8), son menores los requerimientos respecto de la alcalinidad residual del agua para cerveza. Aquí son importantes como mínimo 50 mg/l de iones Ca^+ y contenido de nitratos lo más bajo posible [31].

▶ *Aumento de dureza de no carbonatos*

Por el aumento de la dureza de no carbonatos, se puede disminuir el efecto nocivo, de aumento de pH, de la dureza de carbonatos y reducir la alcalinidad residual a una medida deseada. Esto se puede realizar por adición de $CaCl_2$ o $CaSO_4$ (gypsum). Sin embargo, se aumenta así el contenido de iones Ca^+, lo cual puede tener efectos sobre el sabor. Este proceso casi no se utiliza hoy en día.

▶ *Ablandamiento por intercambio de iones*

Desde hace algún tiempo se utilizan, para el mejoramiento del agua para cerveza, intercambiadores de iones, que extraen los cationes del agua, disminuyendo así la dureza de forma definitiva. En las fábricas de cerveza se utilizan mayormente intercambiadores catiónicos. Los intercambiadores aniónicos se intercalan atrás únicamente, si debe ser reducida la concentración de cloruro, sulfato o nitrato.

En el intercambiador catiónico, fuertemente ácido (Figura 1.21), la resina se encuentra, después de la regeneración con ácido clorhídrico (4), en el intercambiador (2) en la forma H+. Aquí son cambiados todos los cationes, en especial calcio, magnesio y sodio, por iones hidroxilo y se forman ácidos minerales libres (HCl, H_2SO_4, HNO_3). El agua fluye ahora de arriba hacia abajo, a través del intercambiador, siendo descationizada en esto.

El agua descationizada es tratada posteriormente en una etapa de mezcla de dos pasos, intercalada atrás, neutralizándose aquí primeramente, por adición de agua de cal saturada (7), los ácidos minerales libres (8). Los ácidos minerales libres son así neutralizados y convertidos en dureza de no carbonatos de calcio. Finalmente se ajusta la dureza de carbonatos deseada (9).

El agua para cerveza (10) formada contiene ácido carbónico libre. Por ello, las instalaciones intercaladas posteriormente deben ser de acero inoxidable.

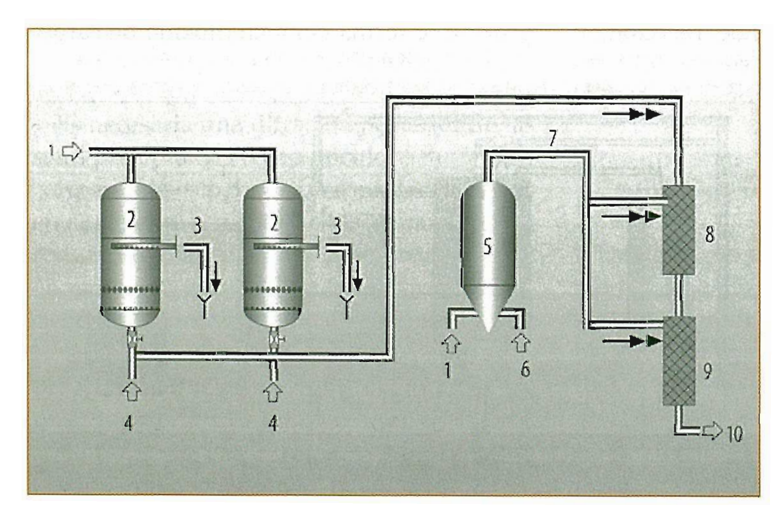


Figura 1.21
Intercambiador catiónico con mezcla de calcio

(1) agua natural, (2) intercambiador catiónico, (3) rebalse, (4) ácido clorhídrico para la regeneración, (5) saturador de cal, (6) lechada de cal, (7) agua de cal saturada, (8) mezcla de calcio, 1ª etapa, (9)) mezcla de calcio, 2ª etapa, (10) agua para cerveza

Desalinización total por ósmosis inversa

En la ósmosis inversa se ejerce una gran presión sobre el agua natural, la cual es mayor que la presión osmótica. En este proceso, las moléculas de agua pasan a través de una membrana semipermeable, mientras que las sales del agua son retenidas, siendo dividido un flujo de alimentación en un flujo de permeato y en un concentrado que contiene sales. El flujo de permeato está compuesto por las moléculas de agua que atravesaron la membrana, mientras que el flujo de concentrado está formado por un pequeño flujo de agua con las sales enriquecidas. Se logran aquí porcentajes de desalinización de 95 a 98 %; las plantas son operadas con presiones de 8 a 12 bar (EUWA, Gärtringen).

1.3.5.4 Esterilización del agua

El agua utilizada en la fábrica de cerveza debe corresponderse con la Disposición de Agua Potable. Para convertir el agua a un estado impecable y obtener la misma así, se puede utilizar

- cloro activo con una dosis de hasta 1,2 mg/l
- dióxido de cloro con una dosis máxima de 0,4 mg/l, y
- ozono con una dosis máxima de 10 mg/l y una concentración del 0,005%.

Además, el agua puede ser esterilizada por adición de ozono, por iones de plata o por irradiación ultravioleta.

Los siguientes procesos son utilizados para la esterilización del agua:

▶ *Esterilización por filtración (filtración esterilizante)*

Es posible esterilizar el agua por medio de filtración. Para ello, la industria especializada ofrece muy buenos filtros de alta eficiencia con micronajes entre 0,2 y 0,45 µm, como filtros esterilizantes. Una buena prefiltración del agua es, en este caso, importante, dado que si no el filtro se obstruye rápidamente (respecto de filtros esterilizantes, ver Sección 4.5).

▶ *Irradiación con rayos UV*

Los microorganismos son muertos por irradiación con rayos UV. El proceso es limpio y confiable, pero

- el costo en equipos es elevado y el resultado es bajo,
- el espesor de la capa de tratamiento debe ser pequeño, teniendo en cuenta que la eficacia es restringida por enturbiamientos y coloraciones; además, en el caso de altos contenidos de gérmenes, debe aplicarse una dosis de irradiación correspondientemente mayor. Las lámparas de rayos UV deben ser renovadas regularmente y su función debe ser controlada.

▶ *Esterilización con ozono (O_3)*

El ozono es obtenido del oxígeno del aire, por descarga eléctrica. Actúa por oxidación, con el resultado de la destrucción de las membranas celulares. El proceso es confiable y limpio, pero los costos de inversión son muy altos. Ambos procesos (UV + Ozono) pueden ser utilizados también en combinación.

▶ *Esterilización por cloración*

Al ingresar cloro gaseoso al agua se forma ácido hipocloroso (HOCl). Éste se descompone en HCl y oxígeno atómico con alto poder oxidante, el cual destruye los microorganismos por oxidación de la membrana celular. El proceso es de equipo poco costoso, pero se forman productos dañinos (AOX, clorofenoles, trihalógenometanos y otros) si el agua viene cargada con substancias orgánicas o fenoles.

▶ *Esterilización por dióxido de cloro*

El dióxido de cloro es un gas inestable, el cual es producido a partir de ácido clorhídrico (HCl) e hipoclorito de sodio ($NaClO_2$), siendo dosificado inmediatamente.

Este proceso presenta más ventajas frente a los anteriores, debido a que

- no se producen modificaciones de sabor en el agua,
- tienen lugar una reducida formación de AOX y cloroformo,
- los costos de operación son muy bajos,
- la seguridad de proceso es alta,
- tiene lugar una esterilización confiable.

Pero el proceso requiere un tiempo de reacción suficientemente largo, después de la dosificación, y una dosificación precisa. El proceso tiene que ser controlado.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que el dióxido de cloro se vuelve inestable con temperaturas crecientes.

▶ *Esterilización por iones plata*

Los iones plata son bactericidas (destructores de bacterias). Si el flujo de agua es conducido a través de electrodos de plata, se puede lograr una esterilización del agua por los iones plata.

1.3.5.5 Desgasificación del agua

En el agua siempre hay mucho aire disuelto. El oxígeno del aire deteriora la calidad de la cerveza y su estabilidad contra el envejecimiento. Sin embargo, el agua entra en contacto con la cerveza en varios lugares. Si el agua contiene todavía oxígeno disuelto, entonces deteriora a la cerveza.

La solubilidad del aire en el agua disminuye a medida que crece la temperatura. El agua muy caliente, por ejemplo agua de riego, casi no contiene oxígeno. Pero el agua a baja temperatura contiene mucho oxígeno y puede deteriorar mucho la cerveza. Ello, por ejemplo, concierne al agua como

- agua de alimentación y de salida en la filtración,
- agua para el llenado del filtro,
- agua para suspender y formar la precapa de kieselgur,
- agua de dilución para high-gravity,
- agua para maceración.

Para la desgasificación se utilizan los siguientes procesos:

- lavado con CO_2 (stripping),
- desgasificación por vacío,
- reducción por hidrógeno,
- desgasificación térmica,
- con membranas de fibra hueca.

▶ *Desgasificación por lavado con CO_2*

En este proceso, también llamado stripping de CO_2, el agua es pasada sobre cuerpos de escurrimiento, mientras fluye en contracorriente, hacia arriba, CO_2 libre de oxígeno. El oxígeno es eliminado con grandes superficies de tansferencia de masa, por medio de un gran excedente de CO_2. El proceso trabaja de forma incompleta.

▶ *Desgasificación por vacío*

Aquí, el agua es atomizada en un recipiente bajo vacío. Para lograr una eliminación completa del oxígeno, debe combinarse esta desgasificación por vacío con un lavado con CO_2.

▶ *Reducción por hidrógeno*

Si se adiciona hidrógeno, el oxígeno contenido reacciona con el hidrógeno, obteniéndose agua (Figura 1.21b). Sin embargo, es necesario un catalizador para la reacción, para lo cual se utilizan bolitas de paladio. Debe tenerse en cuenta, que los costos de inversión y operación son relativamente altos y que la planta debe ser controlada y limpiada [36].

▶ *Desgasificación térmica*

En este proceso, el agua es calentada a 85°C, como mínimo. Posteriormente, el agua es pulverizada y el aire contenido en ésta es liberado con vapor. Es ventajosa la esterilización integrada del agua, que se logra aquí.

▶ *Desgasificación del agua con membranas de fibra hueca*

En este proceso se trabaja como en el de

Figura 1.21b
Desgasificación del agua por hidrógeno (principio)
(K) catalizador paladio

diálisis (ver Sección 4.8.3.1), con módulos, en los cuales están contenidas aproximadamente 30000 fibras huecas de una longitud aproximada de 68 cm. Cada una de las fibras huecas tiene un diámetro de 300 µm y poros de 0,05 µm. Las fibras huecas son rodeadas por el agua a desgasificar, mientras que por el interior de las fibras huecas pasa ácido carbónico libre de oxígeno, en contracorriente y como gas de stripping. La diferencia de concentración entre el agua y el dióxido de carbono es la fuerza propulsiva del oxígeno hacia el dióxido de carbono, el cual extrae así el oxígeno de las fibras huecas. El proceso trabaja trabaja sin problemas y no requiere ser controlado (Centec, Hanau; Eroxsystem, EUWA, Gärtringen).

1.3.6 Posibilidades de economización de agua

Los costos permanentemente crecientes del agua fresca y del agua residual obligan cada vez más a las fábricas de cerveza al ahorro de agua y, con ello, a reducir costos. Una condición esencial para ver las posibilidades de ahorro es primeramente el registro de los consumos de agua de todos los puntos de consumo. Esto resulta en un balance, que permite reconocer las bases que llevarán a una economización de agua.

Es recomendable ordenar las posibilidades de economización de agua, según tres puntos de vista: minimización del consumo de agua fresca en todas las áreas. Reutilización de agua usada, sin tratamiento, para aplicaciones secundarias, que tengan reducidos requisitos de calidad

Circulación del agua para la misma finalidad, después de uno o varios pasos de tratamiento intercalados (circuitos).

Un ejemplo de minimización de consumo de agua fresca está dado en la limpieza CIP por la mejora de la separación de fases [241], por ejemplo por métodos ópticos de medición, lo cual significa la eliminación del tiempo de lavado de seguridad para impedir mezclas no deseadas o el ajuste, según el pasaje momentáneo de botellas, de la cantidad de agua de lavado utilizada en la inyección de agua fresca de la máquina de lavado de botellas.

Sin tratamiento se utilizan, por ejemplo, las aguas de postlavado como aguas para el lavado intermedio, o las aguas de lavado intermedio para el prelavado. Existen la utilización múltiple, en cascada, del agua en la máquina de lavado de botellas y otras posibilidades al respecto. Éstas serán tratadas en los diferentes capítulos tecnológicos [225].

1.4 Levadura

La levadura es un sacaromiceto unicelular, el cual es capaz de cubrir su demanda de energía

- en presencia de oxígeno (aerobio), por respiración, y
- en ausencia de oxígeno (anaerobio), por fermentación.

En la fabricación de cerveza, el azúcar del mosto es fermentada por la levadura a alcohol

y CO_2. Para ello, en la fábrica de cerveza se utilizan hongos de levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae*. Cepas seleccionadas de estas levaduras son aisladas y cultivadas de forma sistemática, como cultivos puros de levadura para cerveza. Otras cepas de esta levadura se utilizan como levadura para hornear, para destiladores o para viñateros.

Dado que la levadura no realiza únicamente una fermentación alcohólica, sino que también tiene, debido a su metabolismo, una gran influencia sobre el sabor y el carácter de la cerveza, es importante el conocimiento de las substancias contenidas en la levadura, de su metabolismo y de su reproducción. Dentro de los tipos y razas de levadura de cultivo hay una serie de características diferenciantes.

1.4.1 Estructura y composición de la célula de levadura

La levadura es procesada en forma de una masa gruesa. Esta masa está formada por billones de células de levadura actuando independientemente unas de otras. Las células de levadura son ovaladas a redondas, con una longitud de 8 a 10 μm y un ancho de 5 a 7 μm (Figura 1.22).



Figura 1.22
Células de levadura

(Fotografía con microscopio electrónico de barrido de Schenk-Filterbau, Waldstetten)

La célula de levadura está compuesta en un 75 % de agua. La materia seca está compuesta, en forma variable, por:

substancias albuminoideas 45 a 60%
hidratos de carbono 25 a 35%
grasas (lípidos) 4 a 7%
substancias minerales 6 a 9%

Las substancias minerales están compuestas por (para cada 100 gramos de materia seca)

2000 mg	fosfatos,
2400 mg	potasio,
200 mg	sodio,
20 mg	calcio,
2 mg	magnesio, y
7 mg	cinc y

trazas de hierro, manganeso y cobre.

Además, la levadura contiene una cantidad de vitaminas, en especial

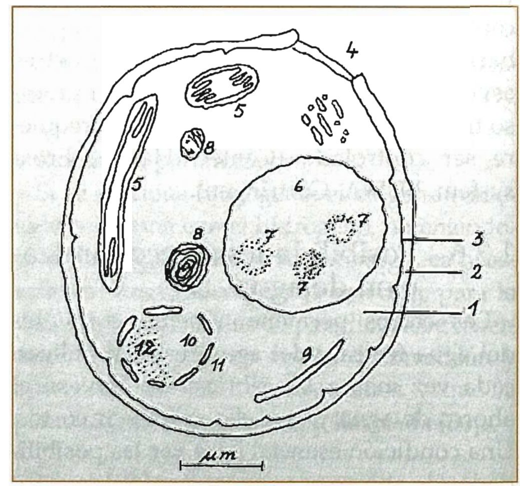


Figura 1.22a
Célula de levadura
(según Hough, Briggs y Stevens)
(1) plasma, (2) pared celular, (3) plasmalerna, (4) cicatriz de gemación, (5) mitocondrias, (6) vacuola, (7) gránulo de polimetafosfato, (8) gránulo lípido, (9) retículo endoplasmático, (10) núcleo (de la célula), (11) membrana nuclear, (12) nucléolo

tiamina (B1) 8 a 15 mg/100 g de materia seca de levadura
riboflavina 2 a 8 mg
ácido nicotínico 30 a 100 mg
ácido fólico 2 a 10 mg
ácido pantoténico 2 a 20 mg
piridoxina 3 a 10 mg
biotina 0,1 a 1 mg

Cada célula de levadura (Figura 1.22a) está compuesta por el plasma celular (citoplasma, citosol) (1), el cual está envuelto por una membrana celular, la plasmalerna (3). El plasma celular aloja una serie de orgánulos, que se encargan de las reacciones metabólicas.

En esto, el orgánulo más importante es naturalmente el núcleo de la célula (10), la central de comando de ésta. Éste está rodeado por una membrana nuclear doble, la cual está cerrada en sí misma, pero que, sin embargo, contiene poros. El núcleo celular contiene una substancia base (plasma), la matriz nuclear y los cromosomas. Cada célula posee con ellos su propio código genético. Los genes están compuestos por una molécula polímera cateniforme, el ácido desoxirribonucleico (ADN), cuyo contenido de información es de 109 a 1010 bytes y que controla todos los procesos del metabolismo, del crecimiento y del desarrollo en la célula. En el núcleo celular se encuentra alojado también un pequeño cuerpo nuclear (nucleolo) (12), el cual está compuesto por ácido ribonucleico.

La célula de levadura posee una gran cantidad de mitocondrias (5). Las mitocondrias importan el piruvato formado en el citosol (ver Sección 4.1.2.1.1) y lo convierten por respiración en CO_2 y agua, en etapas parciales complicadas. En este proceso se forma adenosin trifosfato (ATP) y adenosin difosfato (ADP) (ver al respecto Sección 4.1.2.1.2), los cuales actúan por efecto recíproco como portadores de energía muy importantes. Por eso, las mitocondrias son llamadas "centrales de energía de la célula".

El retículo endoplasmático áspero se encarga de la síntesis de proteínas. El retículo endoplasmático liso sintetiza lípidos y se ocupa de procesos de desintoxicación. Las proteínas que se forman son cerradas y llevadas al lugar previsto, en vesículas y provistas de una envoltura. De esta tarea se encarga el aparato de Golgi, el cual representa una especie de estación de maniobras. De esta manera se transportan las vesículas secretorias con las substancias tóxicas (por ejemplo, alcohol) hasta la membrana celular, llevándolas hacia afuera.

Los lisosomas son la planta de reciclado de residuos de la célula. Se encargan de la digestión intracelular, degradando moléculas complejas en componentes sencillos que son desprendidos. Los ribosomas sintetizan las proteínas y las distribuyen en la célula. Con ello son responsables de la producción en serie y la combinación de aminoácidos para formar productos genéticos, de acuerdo con los mensajes del núcleo celular.

La plasmalerna es de especial importancia, dado que no sólo envuelve a toda la célula, sino también a una gran cantidad de orgánulos de la célula. Al respecto, en el retículo endoplasmático tiene lugar, durante la fase de crecimiento, una intensa producción de estas membranas, lo cual nos debe interesar más detalladamente.

Los componentes esenciales de la plasmalerna son fosfolípidos. Estos fosfolípidos tienen una estructura muy típica, la cual es importante para su función:

residuo de ácido graso- COO – | – C – H_2
residuo de ácido graso- COO – | – C – H
fosfato de aminoácido - – C – H_2

Dos residuos de ácidos grasos son respectivamente esterificados con glicerina ($C_3H_5(OH)_3$). Al tercer OH^- de la glicerina se le une un aminoácido, a través de un residuo de fosfato (fosfolípido).

La composición de la plasmalerna por parte de las moléculas de fosfolípidos (Figura 1.23) muestra dos propiedades contrarias entre sí: mientras que el resto de glicerina es hidrófilo, junto con el fósforo y el residuo de aminoácido (representado en la Figura 1.23 como esfera), las "colas" de los residuos de ácidos grasos (rojo), ubicadas en la plasmalerna una muy junto a la otra y opuestas entre sí en dos capas, repelen el agua (son hidrófobas). De este modo se forma una capa doble (membrana) impermeable, sin que haya enlaces entre las moléculas de fosofolípidos. Todas las membranas celulares en los reinos animal y vegetal están formadas según este modelo.

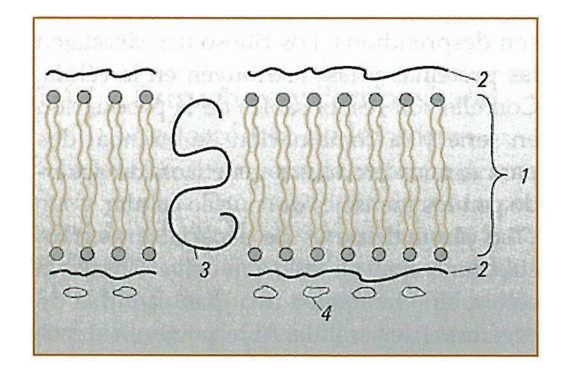


Figura 1.23
Estructura de la membrana celular
(1) fosfolípidos,
(2) proteínas acumuladas,
(3) proteínas de transporte,
(4) trehalosa acumulada

A pesar de que la plasmalerna de la célula de levadura tiene un espesor de sólo 6 nm, siendo con ello solamente 1/1000 del diámetro de la célula de levadura, no debe olvidarse que no sólo cubre todo el volumen de la célula de levadura, sino que también forma las membranas alrededor de los orgánulos de la célula y las zonas de separación en la célula. La superficie de una célula de levadura es de aproximadamente 150 μm^2; 10 g de levadura prensada tienen así aproximadamente 9 a 10 m^2 de superficie de contacto.

Debe tenerse en cuenta el poder necesario de síntesis de ácidos grasos por parte de la levadura en la propagación, en la cual la célula de levadura tiene que formar un volumen nuevo equivalente a 4 a 5 veces el suyo propio. Debería considerarse de cuántas moléculas se trata esto, si se agrandara una célula de levadura a un metro. ¡Entonces la plasmalerna tendría un espesor de apenas 1 mm!

La formación, desgastante en energía, de lípidos -que constituyen los componentes principales de la membrana- está ligada a la existencia de oxígeno. Aquí, una parte de los ácidos grasos contenidos es transformada en ácidos grasos no saturados, los cuales se caracterizan por tener un menor punto de fusión y, con ello, una mejor movilidad. Ante una falta de oxígeno, la formación de la célula se detiene prematuramente.

La pared celular es hermética. La absorción de substancias diluidas (por ejemplo, azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, substancias minerales) se realiza selectivamente por medio de proteínas de transporte insolubles, que están integradas en la membrana (3) y que solamente permiten pasar substancias o grupos de substancias muy determinados. La separación hacia afuera de substancias residuales o tóxicas, como por ejemplo el alcohol que se ha formado, ocurre a través de las así llamadas vesículas de Golgi hacia la membrana.

En la cara exterior de la plasmalerna hay depositados residuos de glicolización (glicocalix) (5) (Figura 1.23a). Éstos están compuestos en un 30 a 40% por manano y en un 30 a 40% por glucano. El manano acumulado hacia afuera está esterificado con fósforo y el glucano, que se encuentra en el interior, está esterificado con azufre. Ambos están integrados en el complejo total de substan-

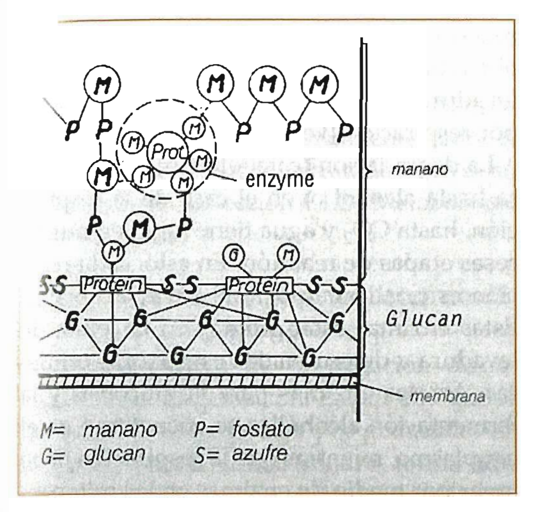


Figura 1.23a
Estructura esquemática de la pared celular (según Hough, Briggs y Stevens)

cias albuminoideas y enzimas, las cuales se encargan de la degradación de materia para un transporte de substancias a través de la plasmalerna. Es por ello que la estructura de estos depósitos bastante grandes es de gran importancia.

Sobre las caras interior y exterior de la membrana se encuentran depositadas proteínas periféricas (ver Figura 1.23; 2); en la cara interior hay además una capa de trehalosa (4).

La totalidad de la envoltura compuesta por la plasmalerna, las capas depositadas y los residuos de glicolización (glicocalix) se denomina pared celular.

En la figura 1.23 está representada plásticamente la estructura de la plasmalerna, formada por fosfolípidos. Las proteínas de transporte depositadas son únicamente capaces de permitir el paso, a través de la membrana, de los compuestos específicos para éstas (maltosa, péptidos u otros compuestos).

El citoplasma (citosol) representa, con algo más del 50% del volumen de la célula, la parte más importante del interior de la célula. Éste es el espacio central de reacción de la célula, en el cual se desarrolla la mayoría de los procesos metabólicos de degradación de nutrientes y formación de componentes propios de la célula. Todo el metabolismo intermediario: la glucólisis (ver Sección 4.1.2.1), la formación de ácidos grasos, la biosíntesis de proteínas y muchos más ocurren aquí, de diversas maneras, paralelamente. En un medio acuoso, los ribosomas, las enzimas y los productos de degradación se mueven uno muy junto a los otros en grandes flujos de ese medio.

En tiempos ricos en nutrientes, por ejemplo después del inicio de la fermentación, la célula de levadura se enriquece con substancias de reserva. Así, el contenido de glicógeno, un hidrato de carbono de reserva, puede incrementarse a más del 30% de la materia seca de la levadura; ésta es depositada en rosetas de acumulación en el citoplasma. También se deposita trehalosa, un disacárido, al igual que fosfatos y lípidos, que la levadura necesita para formar nueva substancia celular.

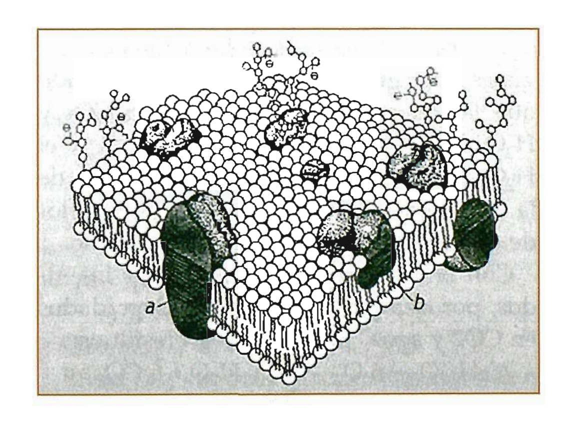


Figura 1.23b
Estructura de la plasmalerna de fosfolípidos con proteínas de transporte
Indicado: residuos de glicolización

En la célula se encuentran a menudo espacios llenos de un jugo celular ácido y envueltos por una membrana, las así llamadas vacuolas. Aquí se depositan determinadas proteínas y sales excedentes. Estas últimas, en parte como cristales. La célula puede regular su presión interior (turgor), por movilización reversible de los cristales de sales, por ejemplo cuando la presión osmótica externa es incrementada por mayor contenido de extracto o alcohol.

La célula de levadura se propaga por gemación. Después de la disociación de la célula hija, queda una cicatriz en la célula madre (Figura 1.22; 4). La edad de la célula puede determinarse según la cantidad (4 a 6) de cicatrices de gemación.

1.4.2 Metabolismo de la célula de levadura

Para la realización de sus procesos metabólicos vitales y la formación de nuevas substancias celulares, la levadura necesita energía y nutrientes, tal como cualquier otra célula.

La energía para la realización de estos procesos es obtenida por la levadura preferentemente por respiración, tal como todos los demás seres vivientes. La obtención de energía es muy grande con la respiración, dado que la glucosa es descompuesta a CO_2 y H_2O, sin que queden residuos. El CO_2 y el H_2O se encuentran en el punto más bajo de la escala energética. Una obtención ulterior de energía por degradación no es posible.

Con la respiración, los nutrientes ingeridos, por ejemplo el azúcar, son degradados en CO2 y agua, sin que queden residuos:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \Rightarrow 6\ H_2O + 6\ CO_2$$

Ante la ausencia de aire, la levadura pasa a la fermentación alcohólica, como único ser viviente capaz de ello. Se forma aquí alcohol (etanol) y CO2, a partir de la glucosa:

$$C_6H_{12}O_6 \Rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2.$$

El alcohol que se forma aquí contiene aún mucha energía, de manera que la energía obtenida por fermentación para la célula de levadura es mucho menor que la obtenida por respiración (ver al respecto Sección 4.1).

La degradación (catabolismo) de la glucosa hasta alcohol o, en el caso de la respiración, hasta CO_2 y agua tiene lugar en numerosas etapas de reacción. En esto, cada reacción es catalizada por una enzima especial. Estas enzimas están unidas en la célula de levadura a determinadas estructuras celulares. Así, las enzimas para la glucólisis y la fermentación alcohólica se encuentran en el citoplasma, mientras que la respiración tiene lugar por medio de enzimas en las mitocondrias.

Las substancias orgánicas necesarias para la respiración o fermentación son absorbidas por las proteínas integradas de la plasmalema y transportadas a través de la membrana. Es por ello que solamente pueden ser absorbidas por la célula de levadura aquellas substancias para las cuales existan los correspondientes mecanismos de transporte. Ello depende a su vez del espectro enzimático de la célula de levadura.

La levadura tiene metabolismos complicados de

- hidratos de carbono,
- substancias albuminoideas,
- materia grasa, y
- substancias minerales.

El metabolismo de hidratos de carbono sirve prioritariamente para la obtención de energía por respiración y fermentación, mientras que sólo una parte más pequeña de los azúcares contenidos en el mosto es depositada como reserva, en forma de glicógeno y trehalosa.

El metabolismo de substancias albuminoideas sirve, al igual que el metabolismo de materia grasa y el de substancias minerales, prioritariamente para la formación de substancias celulares, debiendo tenerse en cuenta que tanto los procesos de formación como

...s de degradación tienen una importancia ...encial.

Estos procesos metabólicos muy compli...dos, que influyen decisivamente sobre la ...lidad de la cerveza, son tratados más deta...adamente en la Sección 4.1.2 - Metabolismo de la levadura.

1.4.3 Reproducción y crecimiento de levaduras

La forma típica de propagación de las levaduras es la gemación. Es por ello que se las llama también hongo por gemación. En la gemación, la célula madre forma una pequeña protuberancia vesiculosa, en la cual entran una parte del citoplasma así como también un núcleo hija, formado por división, dando forma a la célula hija completa. En algunas cepas de levadura, las células madre e hijo se separan entre sí, quedando cicatrices de gemación en la célula madre (Figura 1.24). En otras cepas, las células permanecen unidas entre sí y forman cadenas.

Si se transfieren microorganismos a una solución nutriente fresca, tal como sucede, por ejemplo, en la fábrica de cerveza, en el inicio de la fermentación del mosto con la levadura, éstos comienzan a crecer. El crecimiento está caracterizado por determinadas leyes naturales. No se desarrolla a una velocidad constante, sino que se diferencian seis fases (Figura 1.25).

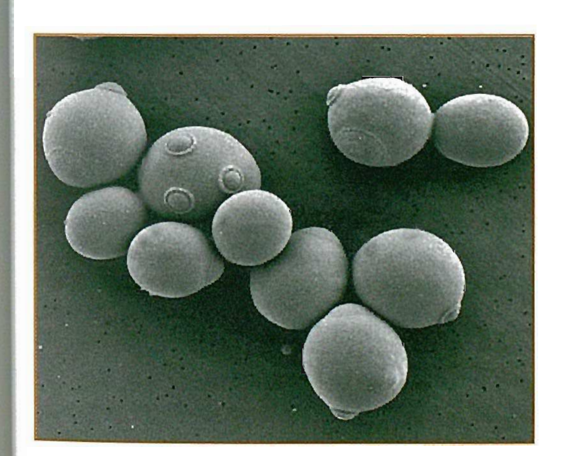


Figura 1.24
Células de levadura en gemación
Las cicatrices de gemación son bien visibles.
Foto: Dr. Inge Russell, Labatt Brewing Co.

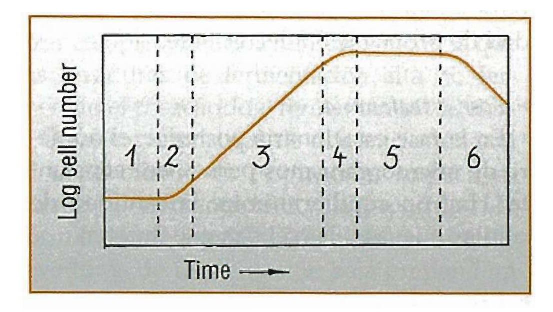


Figura 1.25
Fases de la propagación de levadura
(1) fase de inducción, (2) fase de aceleración,
(3) fase exponencial, (4) fase de deceleración,
(5) fase estacionaria, (6) fase declinante

▶ *Fase de latencia o inducción.*

En la fase de latencia, también llamada fase de inducción, tiene lugar una activación del metabolismo. La duración de esta fase varía fuertemente. Depende del tipo de organismo, de la edad del cultivo y de las condiciones de cultivación. La fase de latencia o inducción finaliza con la primera división celular.

▶ *Fase de aceleración.*

En la fase de aceleración, que sigue a la fase de latencia, aumenta progresivamente la velocidad de división.

▶ *Fase exponencial.*

En la fase de propagación exponencial o logarítmica, la velocidad de propagación es constante y máxima. El tiempo de generación -esto es, el período en que se duplica el número de células- alcanza un mínimo en esta fase. En esta fase, la levadura tiene su mayor vitalidad.

▶ *Fase de deceleración.*

La fase exponencial está limitada temporalmente, debido a diferentes factores, por ejemplo empobrecimiento del substrato de nutrientes o enriquecimiento en productos metabólicos que inhiben el crecimiento. Ella pasa a una fase de deceleración con velocidad de propagación decreciente.

▶ *Fase estacionaria.*

En la fase estacionaria posterior, el número de microorganismos permanece constante. Hay un equilibrio entre la cantidad de células nuevas y las células que mueren.

▶ *Fase declinante.*

En esta última fase mueren más células que las nuevas, que se forman por propagación. De esta manera, disminuye el número de células.

La duración y la intensidad de cada una de las fases de crecimiento son influidas esencialmente por el substrato, la temperatura y el estado fisiológico de la levadura. El substrato debe contener todos los nutrientes necesarios para el crecimiento. De la misma manera, son decisivos para el crecimiento el contenido de agua, el valor pH y la concentración de oxígeno del substrato.

El agua es el componente principal de la materia viva y tiene una importancia absolutamente fundamental en los procesos de vida de los microorganismos. Por lo general, los microorganismos pueden desarrollarse sólo en substratos, cuyo contenido de agua sea, como mínimo, de 15%. Los microorganismos se diferencian entre sí, en lo referente al valor pH óptimo. Las levaduras crecen preferentemente con valores ácidos de pH. Ya ha sido detallada la importancia del suministro de oxígeno para el crecimiento de la levadura. En la fábrica de cerveza, el crecimiento de la levadura es promovido por aireación del mosto antes del inicio de la fermentación.

La temperatura influye también decisivamente sobre el crecimiento de los microorganismos. Cada tipo de microorganismo está caracterizado por una temperatura óptima de desarrollo, con la cual la fase de latencia y el tiempo de generación tienen la mayor brevedad. Pero el crecimiento no sólo es posible con la temperatura óptima, sino que ocurre dentro de un rango más o menos grande de temperatura. Éste es, por lo general, de temperaturas entre 0 y 40°C para las levaduras de la especie Saccharomyces, siendo el óptimo para el crecimiento aproximadamente 25 a 30°C.

El estado fisiológico de la célula del microorganismo -edad y estado nutricional- determina esencialmente la duración de la fase de latencia. Una muy rápida activación del metabolismo tiene lugar en células de levadura que son pasadas a un substrato fresco durante la fase de crecimiento exponencial. Esto significa, referido a la fábrica de cerveza, que un inicio rápido de la fermentación se logra de la mejor manera con levaduras, que son extraídas en estado de fermentación principal y agregadas, sin almacenamiento intermedio, en el mosto al inicio de la fermentación.

1.4.4 Caracterización de las levaduras para cerveza

Dentro del tipo de levadura utilizada predominantemente como levadura de cultivo en la fábrica de cerveza, se diferencian numerosas cepas. En la práctica cervecera, estas cepas se dividen en dos grandes grupos:

- levaduras de fermentación alta (*Saccharomyces cerevisiae*), y
- levaduras de fermentación baja (*Saccharomyces carlsbergensis*).

Entre las levaduras de fermentación alta y las de fermentación baja existen diferencias morfológicas, fisiológicas y tecnológicas de fermentación, las cuales se describen a continuación.

1.4.4.1 Características morfológicas

Las levaduras de fermentación alta y baja pueden ser diferenciadas bajo el microscopio por su comportamiento de gemación. Las levaduras de fermentación baja se encuentran casi exclusivamente como células individuales, respectivamente como pares de células, mientras que las levaduras de fermentación alta forman cadenas (Figuras 1.26, 1.27). En las levaduras de fermentación alta, las células madre e hija permanecen unidas, por lo general, durante un tiempo más largo, por lo cual se forman cadenas celulares ramificadas. En las levaduras de fermentación baja, las células madre e hija se separan entre sí, luego de finalizada la propagación. Las levaduras de fermentación alta y las de fermentación baja tienen igual forma celular.

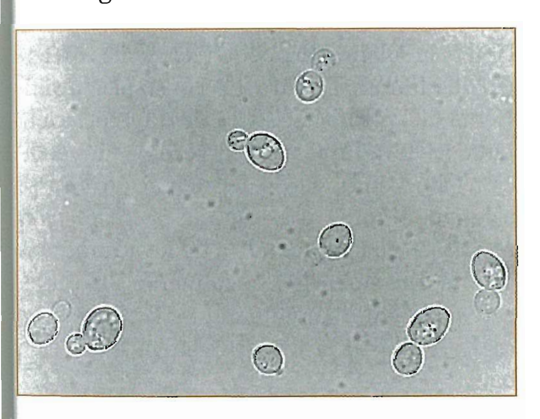


Figura 1.26 Levadura de fermentación baja para cerveza (gemación bien reconocible) (aumentado aproximadamente 1000x)

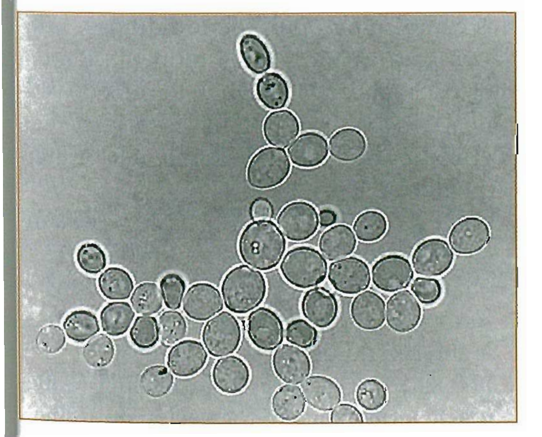


Figura 1.27 Levadura de fermentación alta para cerveza (aumentado aproximadamente 1000x)

1.4.4.2 Diferencias fisiológicas

La característica de diferenciación fisiológica más importante entre las levaduras de fermentación baja y las de fermentación alta se encuentra en la fermentación del trisacárido rafinosa. Las levaduras de fermentación baja pueden, debido a su espectro enzimático, utilizar completamente la rafinosa, mientras que las levaduras de fermentación alta no fermentan el trisacárido o fermentan un tercio.

Otras características de diferenciación son el metabolismo de respiración, respectivamente de fermentación, y la capacidad de formación de esporas. Mientras que en las levaduras de fermentación baja prepondera por lejos el metabolismo de fermentación, las levaduras de fermentación alta se caracterizan por un metabolismo más marcado de respiración. En correspondencia con ello, la cosecha de levadura, después de la fermentación, es más abundante en levaduras de fermentación alta que en cepas de fermentación baja. Las levaduras de fermentación baja son más pobres en enzimas que las cepas de fermentación alta. En las levaduras de fermentación baja, la capacidad de formación de ascosporas es restringida. Ellas esporulan más esporádicamente, en comparación con las cepas de fermentación alta, y la formación de esporas dura más tiempo. Bajo condiciones normales de fermentación, no se realiza una formación de esporas.

1.4.4.3 Diferencias tecnológicas de fermentación

La denominación fermentación alta, respectivamente fermentación baja, en cepas de levadura para cerveza deriva de su apariencia característica durante la fermentación. Las levaduras de fermentación alta suben a la superficie en el transcurso de la fermentación; las levaduras de fermentación baja se depositan en el fondo, hacia el final de la fermentación.

Las levaduras de fermentación alta también bajan hacia el fondo cuando alcanzan el final de la fermentación, pero mucho más tarde que las de fermentación baja. Al momento de la cosecha de levadura, al final de la fermentación principal, se encuentra todavía arriba y son cosechadas ahí, siempre y cuando se trabaje con recipientes abiertos.

Otra característica esencial de las levaduras de fermentación baja es el comportamiento diferenciado de floculación. De acuerdo con esto, las levaduras para cerveza de fermentación baja se dividen en levaduras no floculantes y levaduras floculantes. En las levaduras no floculantes, las células quedan finamente distribuidas en el substrato de fermentación y recién descienden lentamente al fondo al final de la fermentación. Las células de levaduras floculantes se aglomeran, después de algún tiempo, formando flóculos grandes, depositándose entonces rápidamente. El poder de floculación de una levadura está condicionado genéticamente y es heredado. Las levaduras de fermentación alta no floculan.

El poder de floculación de una cepa de levaduras tiene gran importancia práctica. Con las levaduras floculantes se obtiene una cerveza clara, pero no tan altamente fermentada, mientras que con las levaduras no floculantes y las de alta fermentación se obtienen cervezas con un grado de fermentación más alto.

Las levaduras de fermentación alta y las de fermentación baja se diferencian también en lo referente a la temperatura de fermentación. Con levaduras de fermentación baja se fermenta a temperaturas entre 4 y 12°C. Con cepas de levaduras de fermentación alta se trabaja con 14 a 25°C. El control de la temperatura es determinado por el cervecero.

1.4.4.4 Clasificación sistemática

De acuerdo con las características de diferenciación descriptas, las cepas de levadura para cerveza se dividen en levaduras de fermentación alta y levaduras de fermentación baja. Debe tenerse en cuenta en esto que las características descriptas para cepas de levaduras de fermentación alta, respectivamente de fermentación baja, no son propiedades fijas. Son variables en mayor o menor grado. Sobre todo el criterio de la fermentación de rafinosa no es confiable, dado que también algunas levaduras para cerveza de fermentación baja solamente pueden fermentar un tercio de rafinosa. Debido a la constancia insuficiente de las características de diferenciación, tanto las levaduras para cerveza de fermentación alta como las de fermentación baja se asignan, a veces, a la especie *Saccharomyces cerevisiae*, en la sistemática de levaduras más nueva. Sin embargo, usualmente los cerveceros siguen denominando *Saccharomyces carsbergensis* a la levadura de fermentación baja.

La selección de las cepas, que son cultivadas como cultivo puro de levaduras y utilizadas para el inicio de la fermentación del mosto, es realizada según determinados criterios. A éstos corresponden esencialmente

- el comportamiento de fermentación (fermentación alta o baja),
- el comportamiento de floculación (levadura no floculante y levadura floculante),
- el poder de fermentación (velocidad de fermentación y grado de fermentación),
- la intensidad de propagación, y
- la formación y degradación de subproductos de fermentación (formación de aroma).

la especie de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* no sólo pertenecen las cepas de levaduras de cultivo, sino también levaduras con peligro de causar infección en la fábrica de cerveza. Así, por ejemplo, las heces del vino deterioran la cerveza. También las levaduras de otras especies y géneros son consideradas como infecciones dañinas para la cerveza. El ingreso de tales microorganismos se denomina contaminación.

Estos microorganismos, denominados también "levaduras salvajes" en diferencia con la levadura de cultivo, ingresan a la fábrica de cerveza sobre todo a través de la materia prima, siendo siempre indeseados en aquélla. Pueden causar un sabor y un olor desagradables en la cerveza, así como también una turbiedad en la misma (ver Sección 8.3).

1.5 Adjuntos

El potencial enzimático de la malta es suficiente para degradar almidón adicional. Por eso, se substituye en algunos países una parte de la malta -por lo general, 15 a 20%- por cereal sin maltear. Este cereal sin maltear, que es más barato como proveedor de almidón que la malta relativamente cara, es denominado adjunto. Se consideran aquí, por sobre todas las cosas, aquellos tipos de cereales que son cultivados en gran volumen, en especial maíz, arroz y -especialmente en África- sorgo.

No está permitida la coutilización de adjuntos para cervezas que son fabricadas según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

1.5.1 Maíz

El maíz es cosechado con un contenido de agua de 25 a 30%, siendo llevado un contenido de agua de 10 bis 14%, por secado. La materia seca del grano de maíz está compuesta en

76 a 80%	por hidratos de carbono
9 a 12%	por proteínas
4 a 5%	por aceite

y pequeñas cantidades de fibra cruda y minerales.

El aceite se encuentra en el embrión del grano. Debido a la preocupación causada por el efecto nocivo del aceite sobre la espu-

Producción de cereales en el mundo (millones de t) 1997-1999 [237]

	Asia	América del Norte y Central	Europa	África	Sudamérica	Oceanía	Total
maíz	161	270	73	41	54	<1	600
trigo	261	95	184	16	19	21	596
arroz	534		11 3	17	19	1	585
cebada	22	21	87	4	1	6	141
sorgo	13	22	<1	20	5	1	62
mijo	13	<1	1	13	<1	<1	28
avena	1	6	17	<1	1	1	27
centeno	1	1	20	<1	<1	<1	25
Total	1006	427	386	113	100	32	2064
Población En millones de habitantes (2000)	3587	472	729	768	333	30	5919

ma, el maíz es desgerminado antes del procesamiento, siendo así prácticamente liberado del aceite. El maíz desgerminado tiene entonces un contenido de aceite de aproximadamente 1%. También se toleran contenidos de aceite de hasta 1,5%.

El contenido de proteínas disminuye a aproximadamente 7 a 9%, durante el procesamiento a sémola y flóculos. Estas proteínas quedan también sin disolver, en gran parte, en el proceso de maceración, de manera que se debe esperar un contenido menor de proteínas, según la porción de maíz. Esto puede tener efectos sobre el suministro de proteínas de bajo peso molecular a la levadura (FAN, ver Sección 4.1.3.1).

El almidón de maíz (Figura 1.28) es similar, también en su forma exterior, al almidón de la cebada. La temperatura de engrudamiento del almidón de maíz es también de 60 a 70°C, no debiendo esperarse problemas en el procesamiento. El contenido de extracto del maíz desgerminado es de 88 a 90% deshidratado (= 77 a 78% secado al aire) y en consecuencia aproximadamente igual que en la malta.

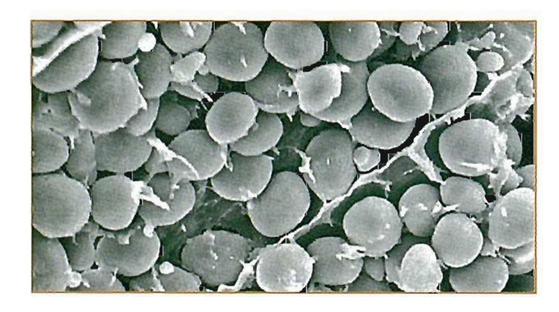


Figura 1.28
Almidón de maíz (aumentado 1000x)
VLB Berlin, Forschungsinstitut für Rohstoffe

El maíz es desgerminado en seco antes del procesamiento, siendo separados los embriones y las cáscaras por medio de planchísteres y aspiradores. El maíz puede ser procesado a los siguientes productos:

- sémola de maíz,
- copos de maíz,
- sémola refinada,
- jarabe de maíz.

▶ *Sémola de maíz (Grits)*

La sémola de maíz es procesada, por lo general, con una granulometría relativamente basta (0,3 a 1,5 mm). La trituración puede ser realizada por medio de un molino de adjuntos en la fábrica de cerveza. La sémola de maíz es pretratada a menudo con aproximadamente un cuarto del macerado de la malta en la caldera de cocción de adjuntos (Sección 3.2.4.3.5).

▶ *Copos de maíz (Flakes)*

Los granos de sémola levemente humedecidos son convertidos en copos planos, por medio de compresión con rodillos, siendo así engrudados. Los copos pueden ser macerados, en esta forma engrudada, sin tratamiento previo.

▶ *Sémola refinada (Refined corn grits)*

Para esto la sémola es remojada 30 a 40 horas en agua caliente a 50°C. Al agua se le adiciona SO_2, para suprimir el desarrollo de microorganismos. Los granos son abiertos por rotura en un molino, siendo extraídos los embriones por un dispositivo separador. Luego se separa el almidón de la cáscara y de las proteínas y se lava varias veces el almidón crudo, antes de secarlo. Este proceso se realiza en instalaciones especiales, fuera de la fábrica de cerveza. El almidón de maíz formado es muy fino (tamaño promedio de grano 0,5 mm). Esta sémola refinada es transportada en vehículos especiales a la fábrica de cerveza. Debido al reducido tamaño de partículas existe peligro de explosión. La sémola refinada está entonces compuesta por almidón puro de maíz, que engruda con facilidad y que se puede licuar bien. El contenido de extracto es de 90 a 95%, el contenido graso de 0,5 a 0,8%.

1.5.2 Arroz

Para la fabricación de cerveza se usa arroz quebrantado. Estos son granos rotos durante el pelado y pulido del arroz, que solamente han perdido atractividad en su aspecto.

El grano de arroz tiene un contenido de agua de aproximadamente 12 a 13%. La materia seca del arroz está compuesta en aproximadamente

85,0 a 90,0%	por almidón
5,0 a 8,0%	por proteínas
0,2 a 0,4%	por aceite

y pequeñas cantidades de substancias minerales.

Con 85 a 90%, el arroz tiene un alto contenido de almidón. El almidón del arroz está compuesto por pequeños granos, individuales o combinados, de forma característica (Figura 1.30). Los granos combinados están compuestos por muchos granos parciales, apenas discernibles visualmente.



Figura 1.30
Almidón de arroz (aumento 1000x)
VLB Berlin, Forschungsinstitut für Rohstoffe

El almidón del arroz se hincha fuertemente y engruda a temperaturas de 70 a 85°C. Ciertas variedades y cosechas de arroz de condiciones de crecimiento más calurosas tienden más a temperaturas de engrudamiento altas (80 a 85°C). Esto debe ser tenido muy en cuenta en el procesamiento del arroz (ver Sección 3.2.4.3.5).

El bajo contenido de proteínas prácticamente no entra en solución en la posterior maceración, de manera que el amino nitrógeno libre (FAN) para la levadura debe ser suministrado por el macerado de la malta.

El arroz es

- molido a sémola en la fábrica de cerveza o suministrado como sémola de arroz y es pretratado junto con una parte del macerado de la malta en la caldera de cocción de adjuntos, o
- procesado a copos de arroz, siendo ahí engrudado y agregado sin otro pretratamiento en la cuba de maceración.

1.5.3 Cebada

Las enzimas de la malta pueden procesar la cebada, como adjunto, sin problemas hasta una porción de 15 a 20%. La cebada puede ser procesada en forma de

- cebada triturada, o
- copos de cebada, obtenidos de cebada pelada o sin pelar.

El menor precio frente a la malta tiene como consecuencia un menor rendimiento. Puede haber problemas en el procesamiento, porque el β-glucano no se encuentra disuelto, como resultado de la falta de proceso de malteado y por no ser degradado suficientemente en la maceración. Por este motivo, puede haber dificultades de filtración en estos casos.

1.5.4 Sorgo/Mijo

El sorgo, de grano grande, es un tipo de cereal que es cultivado sobre todo en las regiones más calurosas y más secas de África. En contraste con ello, el mijo, de grano pequeño, es cultivado también en Europa, con propósitos alimentarios (alimento para pájaros).

Para la fabricación de cerveza, solamente se usa el sorgo de grano grande, del cual existen muchas variedades que son cultivadas, como tipos mazorca y panícula, principalmente con propósitos alimentarios (Figura 1.31).

Es natural, que se trate de utilizar progresivamente en muchos países africanos la

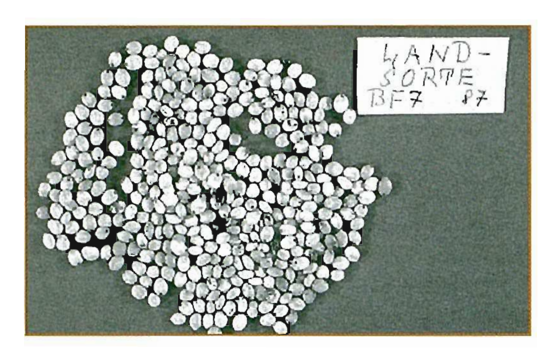


Figura 1.31
Granos de sorgo

Foto: P. Seidl, München

materia prima sorgo como proveedor de extracto para la fabricación de cerveza, y que también se trate de maltearlo, a los efectos de ahorrarse así las importaciones caras de malta. Además, las condiciones climáticas hacen imposible la realización del cultivo de cebada cervecera. Dado que el sorgo germina de forma natural, éste desarrolla también un potencial enzimático, con ayuda del cual se pueden degradar las substancias contenidas. Sin embargo, el potencial enzimático del sorgo es menor que el de la cebada.

El cultivo del sorgo, así como también la cosecha, se realiza en la época de lluvias. Como resultado, debe contarse con fuertes contaminaciones (infecciones con microorganismos, en especial mohos). Por ello, es necesario tratar la cosecha, para prevenir su deterioro.

El cultivo de variedades puras recién está comenzando en estos países. Por ello, no es posible deducir todavía valores promedio, a partir de cosechas muy diferentes [131]. En la mayoría de las variedades de sorgo hay que calcular con los siguientes valores:

contenido de proteínas	11 a 12,6%
contenido graso (materia seca)	2 a 6%
contenido de almidón (materia seca)	62 a 67%
energía de germinación 5 días	mayor que 90%
peso hectolítrico	mayor que 70kg
peso de mil granos	mayor que 25g (hasta 44 g)

Los granos de almidón están firmemente fijados en el endospermo (Figura 1.32).

1.5.5 Trigo

El trigo rara vez es procesado como adjunto. Sin embargo, se lo procesa a menudo en forma malteada, por ejemplo para la fabricación de cervezas de fermentación alta, tales como varios tipos de cervezas de trigo. En esto, la porción de malta de trigo para la fabricación de cervezas de trigo es de 50 a 60 %, debido a su elevado rendimiento de extractos. Se prefieren determinadas variedades como trigo cervecero, debiendo tenerse en cuenta que son más demandadas las variedades de trigo de invierno como consecuencia de su contenido de proteínas más reducido y su mayor contenido de extractos. Además, resultan en cervezas más claras.

El gluten es característico de las proteínas del trigo. Se entiende bajo ello a una mezcla de diferentes proteínas, que compone aproximadamente el 80% de la proteína total. El gluten contiene, como proteínas, sobre todo glutelina y gliadina (en lugar de la hordeína de la cebada). Se conoce el gluten como el residuo pegajoso y filamentoso que se forma

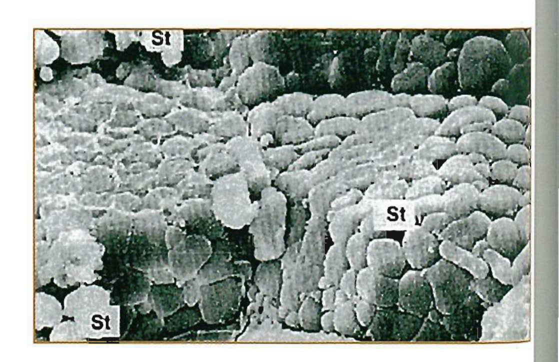


Bild 1.32
Sorghum steely endosperm (aumento 600x)

Foto: Dr. A. D. Aisien, Lagos

a mezclar y amasar harina de trigo con agua, y que se vuelve córneo en el secado.

Para propósitos cerveceros, no es deseable maltear trigo rico en proteínas, dado que es dificultoso de procesar.

En la Sección 2.9.10 se encuentran indicaciones respecto de otros cereales de panificación (escanda común, centeno, emmer, triticale) y de su malteabilidad.

1.5.6 Azúcar

Si no se está ligado a la Ley de Pureza "Reinheitsgebot", se puede substituir una parte de la carga de materias primas por azúcar. Como azúcar, se utilizan el azúcar de caña o de remolacha (sacarosa). La sacarosa es un disacárido de glucosa y fructosa. Por medio de un cocido prolongado o por adición de ácido, el azúcar es invertida en ambos monosacáridos, siendo así fácilmente fermentable. El azúcar es utilizada para la cocción del mosto, dado que es completamente fermentable y no es necesario un pretratamiento.

Según las Directivas de la UE y la Disposición de los Tipos de Azúcares, se distinguen

- azúcar refinada, azúcar blanca refinada, o azúcar refinada según la Categoría 1 de la CE y
- azúcar o azúcar blanca (sacarosa cristalina purificada) (Categoría 2 de la CE).

Respecto de las propiedades del azúcar, interesa sobre todo su solubilidad. La solubilidad del azúcar en agua es muy alta. A 20°C se disuelven 204 partes de azúcar en 100 partes de agua.

En agua caliente, se disuelve notablemente más sacarosa. Pero ésta precipita nuevamente al enfriarse.

Temp. en °C	Contenido de la solución saturada de azúcar en % en peso	Viscosidad en mPa*s
0	64,2	677
10	65,6	346
20	67,1	214
40	70,4	116
100	83,0	80

Una solución saturada de azúcar en agua se denomina jarabe. Para la fabricación de jarabe de azúcar, se disuelve azúcar en agua. Esto puede ser realizado en frío o en caliente.

Se debe hacer un jarabe de azúcar al 65%. Para ello, se disuelven 65 kg de azúcar en 35 kg de agua. Esto resulta en 100 kg de jarabe de azúcar al 65%. Dado que el jarabe de azúcar no es pesado, sino agregado por volumen, es necesario calcular el volumen de una determinada masa de jarabe de azúcar.

El azúcar disuelta tiene una densidad de 1,6 g/cm^3=1,6 g/ml

$$\text{volumen } V = \frac{\text{masa } m}{\text{densidad } d}$$

El volumen de 1 kg de azúcar es entonces

$$V = \frac{1000\text{ g}}{1{,}6\text{ mg/l}} = \frac{10000\text{ ml}}{16} = 0{,}625\text{ l}$$

65 kg de azúcar = 0,625 l × 65= 40,6 l de azúcar
35 kg de agua = 35,0 l de agua
100 kg de jarabe de azúcar (al 65%) = 75,6 l de jarabe de azúcar (al 65%)

El jarabe de azúcar es fabricado como mínimo al 65%. Es entonces bien almacenable y no es agredido por microorganismos, dado que éstos plasmolizan en la solución de alto porcentaje. El agua es extraída de las células de los microorganismos, debido a la mayor presión de solución. El plasma se suelta de la pared celular y el organismo pierde capacidad vital, pero no muere, por

lo general. Es por esos que una solución de jarabe no puede descomponerse. Sin embargo, en estado diluido, los microorganismos se activan en breve si la solución no es esterilizada.

El azúcar es diluida, por lo general, en frío. A veces se la diluye en caliente, lo cual es energéticamente más costoso. Por lo general, el azúcar es comprada en forma diluida. En esto se diferencia

- azúcar líquida, con aproximadamente 65% de contenido de azúcar, una solución de sacarosa no invertida, con máximo 3 % de azúcar invertida,
- azúcar líquida invertida con un grado de inversión menor que el 50%, y
- azúcar invertida con una grado de inversión mayor que el 50%.

Para la fabricación de cerveza, se utiliza en primer lugar azúcar líquida, dado que en la cocción de mosto tiene lugar, de todos modos, una inversión.

La adición de azúcar en reducidas cantidades tampoco va en menoscabo del sabor de la cerveza, dado que es fermentada completamente. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el azúcar no aporta ninguna substancia albuminoidea al mosto y que, por ello, el contenido de amino nitrógeno puede llegar a ser muy reducido, lo cual puede causar dificultades de fermentación. La adición de azúcar líquida como proveedor de extracto sólo tiene sentido si el azúcar puede ser obtenida de forma económica.

Por derretimiento del azúcar o calentamiento del jarabe de azúcar se forman productos de color marrón con el típico sabor acaramelado. Este proceso puede ser dirigido, en dependencia del valor pH, más en el sentido de la formación de color o en el sentido de la generación de aroma. Si se calienta jarabe de sacarosa en una solución buffer, se producen muchas substancias aromáticas (dihidrofuranonas, ciclopentenolonas y otras). Esto es deseado en el azúcar cervecera caramelizada. Debe controlarse la posible formación de acrilamida carcinógena. El azúcar cervecera caramelizada se comercializa en forma de jarabe o azúcar coloreada de color marrón.

1.5.7 Jarabe de glucosa

El jarabe de glucosa es fabricado a partir de sémola de maíz refinada sin secar, degradando, por hidrólisis (disociación acuosa), el almidón en azúcar. Para ello, pueden utilizarse tres procesos:

- la hidrólisis ácida,
- una combinación de hidrólisis ácida y enzimática, o
- la hidrólisis enzimática.

Sabemos (ver Sección 1.1.4.1.1) que el almidón (amilopectina, así como también amilosa) está compuesto por cadenas largas de residuos de glucosa. Si se agrega un ácido, se separan los enlaces entre las moléculas de glucosa, bajo ingreso de una molécula de agua, y se forma glucosa. Este proceso es realizado por adición de ácido clorhídrico diluido (0,10- bis 0,15 n) en calor y bajo presión, por lo cual se deshacen cada vez más enlaces y se forma un jarabe de azúcar y dextrinas. Las substancias insolubles son extraídas por centrifugación y el jarabe es espesado a aproximadamente 60%. Si se combina la degradación o se la realiza únicamente por medio de un preparado enzimático (ver Sección 3.2.4.3.5), se pueden obtener también glucosa y maltosa en mayor cantidad, lo cual es notablemente mejor para la composición del extracto en la fermentación.

La composición de los jarabes de glucosa puede variar dentro de un amplio rango. Se la define según Equivalentes de Dextrosa (ED). Esta definición indica el contenido de azúcares reducidos, expresado como dextrosa. De acuerdo con esto, un jarabe sobreazucarado con 95 ED contiene casi solamente glucosa.

Este jarabe de maíz o glucosa HFCS (High Fructose Com. Syrup) puede ser obtenido también a partir de trigo u otro cereal bara-

En principio, tiene las mismas propiedades que el azúcar líquida (ver Sección 1.5.6). Sin embargo, debe ser almacenado a 27°C, para que mantenga su forma líquida. El jarabe de glucosa es notablemente más económico que el azúcar líquida. La isoglucosa se caracteriza por tener baja viscosidad, color claro, alto grado de pureza y un procesamiento sencillo. No está permitida la adición de jarabe de glucosa para las cervezas fabricadas según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

1.5.8 Caramelo

Se entiende bajo caramelo (E 150 según la Directiva de Aprobación de Aditivos Autorizados) un colorante alimentario de color marrón oscuro, el cual se forma calentando azúcar, con utilización de substancias técnicas adicionales. Después de la cocción de la solución, se dosifica cuidadosamente un catalizador (ver abajo) y se calienta la masa a 160°C. Cuando se alcanza la intensidad de color deseada, el proceso se interrumpe, el caramelo es enfriado y ajustado a los valores deseados. En este proceso se forman productos de transposición (productos enoles), que tienen una fuerza colorante intensa (hasta por encima de 50.000 EBC). Esta aplicación es realizada después de la correspondiente dilución.

Las propiedades funcionales y el campo de aplicación se rigen según el catalizador utilizado:

	clase 1	clase 2	clase 3	clase 4
	caramelo	caramelo de sulfito cáustico	caramelo amónico	caramelo de sulfito amónico
catalizador	ácidos, lejías	lejía sulfítica	amoníaco	sulfito de amonio
propiedad	estable. en alcohol	estable en alcohol	estable en cerveza	estable en ácido
aplicación	bebidas espirituosas golosinas	bebidas espirituosas	cerveza productos de panific.	gaseosas bebidas sin alcohol
	prod. de panificación prod. farmacéuticos		sopas salsas	vinagre materias primas
Valor cromático	20.000 EBC	30.000 EBC	40.000 EBC	52.000 EBC

En las fábricas de cerveza se utilizan exclusivamente caramelos de la clase 3, los cuales tienen intensidades de color 6.000 y 40.000 EBC.

Los caramelos no deben ser utilizados para las cervezas fabricadas según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

2 Fabricación de malta

Sin malta no se puede fabricar cerveza. Es por eso que la fabricación de malta de cebada es el primer paso para la fabricación de cerveza. Si bien se puede fabricar malta también a partir de otros tipos de cereales, como por ejemplo el trigo, el centeno o el sorgo, es la malta de cebada la que se impuso históricamente, por varios motivos, como la más adecuada para la fabricación de cerveza. Cuando a continuación se trata de malta, básicamente se entiende con ello la malta de cebada.
Para la fabricación de 1 hl de cerveza con un contenido de extracto original del 11%, se requieren aproximadamente 17 kg de malta.

Por motivos económicos, en algunos países se substituye en la fabricación de cerveza una parte de la malta por cereal sin maltear. De esta manera, se reduce el requerimiento de malta para la fabricación de cerveza. Si se considera la producción de cerveza en las grandes regiones de la Tierra, el requerimiento de cebada y de malta resultante de ésta, y por otro lado la producción de cebada cervecera en las diversas regiones, se pueden observar marcadas diferencias [125]:

La tabla muestra las discrepancias extremadamente grandes entre producción y requerimiento de cebada para la fabricación de malta en las diferentes regiones. El abastecimiento suficiente con cebada cervecera y las grandes capacidades de malteado hacen de Europa, Canadá y Australia los mayores exportadores de malta en el mundo (ver al respecto Sección 1.1.2).

Región	**Prod. de cerveza (mill. hl)**	**Requerim. de malta (mill. t)**	**Producción de cebada total (mill. t)**	**Producción de cebada para malta (mill. t)**
América				
América del Norte y Central	317	3,8	22,3	5,5
América del Sur	115	1,4	1,1	0,3
Europa				
(sin CEI*)	381	4,6	68,0	10,2
Estados de la CEI*	50	0,6	47,9	1,4
Asia				
Oriente Próximo	8	0,1	13,4	0,4
Extremo Oriente sin China	120	1,4	3,0	0,1
China	120	1,4	2,3	0,1
Oceanía				
Australia	18	0,2	4,7	1,2
Nueva Zelanda	5	0,1	0,4	0,1
África	53	0,6	5,3	0,2
Total mundial	1187	14,2	168,4	19,5

* *CEI = Confederación de Estados Independientes (ex URSS).*

Las grandes exportaciones de cebada y de alta se dirigen a América del Sur, al África muy en especial al Este de Asia, donde en nto se ha desarrollado una floreciente industria cervecera (datos de 1994).

El comercio de mercaderías depende naturalmente de las variaciones de rendimiento y calidad, condicionadas por el clima. También depende de las fluctuaciones de precios en el mercado mundial, ocurriendo casi todos los años cambios en aquél.

La fabricación de malta de cebada, el malteado, tiene lugar hoy en día casi exclusivamente en grandes malterías comerciales, mientras que antaño las fábricas de cerveza acostumbraban fabricar su malta en una maltería propia con el mismo personal especializado, el "cervecero y maltero".

El objetivo del malteado es formar enzimas en el grano germinante de cebada y causar determinados cambios substanciales, a los que llamamos solución o disolución.

Para ello se hace germinar la cebada por absorción de agua, siendo interrumpido este proceso de germinación en el momento adecuado, por medio de un proceso de secado, el tostado. La malta resultante tiene casi el mismo aspecto que la cebada, a partir de la cual ha sido producida (Figura 2.1).

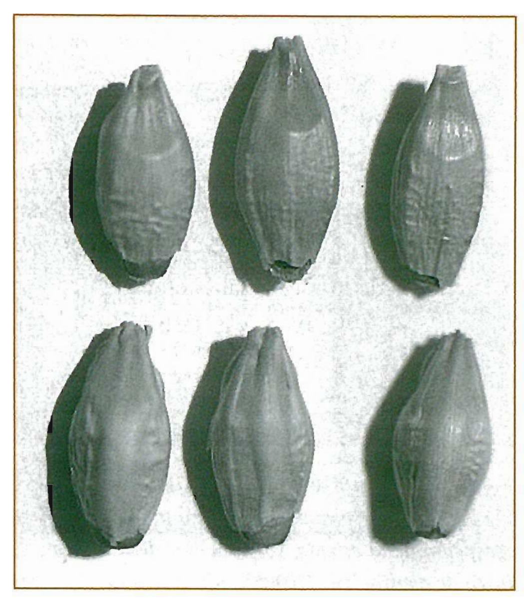


Figura 2.1: Granos de cebada y de malta. ¿Cuál es la diferencia?

Para la realización de estas tareas, la cebada entregada es limpiada, clasificada y almacenada en silos hasta ser procesada. La cebada absorbe el agua necesaria para la germinación durante el remojo, germinando en grandes cajones. Posteriormente, la germinación es interrumpida por el tostado a alta temperatura. La malta es separada de los brotes que quedan aún adheridos y almacenada en silos hasta su venta.

2.1 Recepción, limpieza, clasificación y transporte de la cebada

La cebada es entregada en la maltería. La entrega tiene lugar, hoy en día cada vez más, sobre la base de precontratos con los productores, quienes cultivan para ello determinadas variedades de cebada. La pureza de variedad es la base para una calidad uniforme. Por lo general, la cebada entregada es prelimpiada y almacenada (Figura 2.2).

Posteriormente se realiza la limpieza principal (tratamiento), donde se presta especial atención a,

- la eliminación de contaminantes no malteables,
- la eliminación de contaminantes tales como semillas de maleza, que reducen la calidad de la malta e incrementan el contenido de agua, y
- la clasificación de los granos de cebada en granos de igual tamaño.

Para el logro de estos objetivos se utiliza la planta de limpieza y clasificación de cebada. La maltería está equipada para ello con importantes instalaciones de transporte. Dado que se produce aire polvoriento en todas las máquinas de la maltería, se necesitan también instalaciones para la eliminación de polvo.



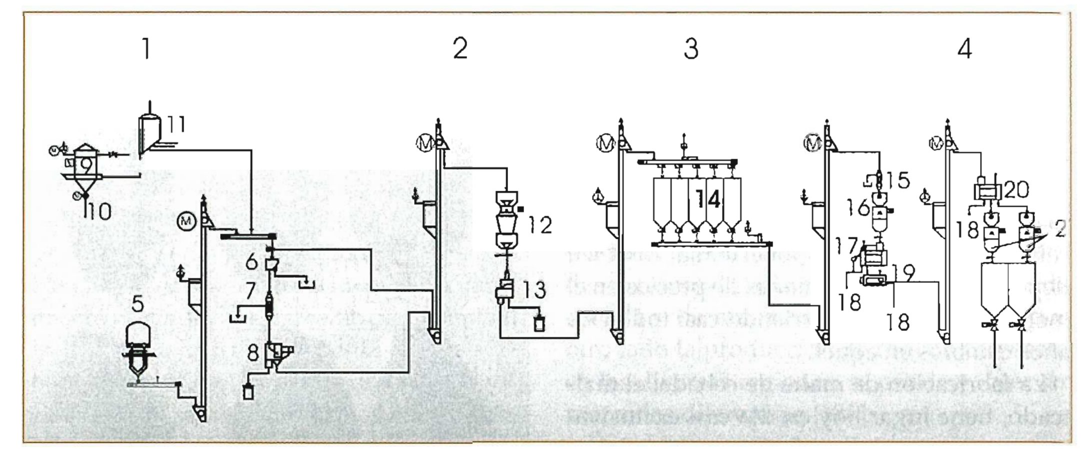


Figura 2.2: Planta de limpieza y clasificación de cebada
(1) equipo de aspiración, (2) prelimpieza, (3) almacenamiento, (4) limpieza principal y clasificación, (5) recepción de la cebada, (6) tomador de muestras, (7) dispositivo magnético, (8) tambor de tamización, (9) filtro de aspiración, (10) válvula esclusa, (11) protección contra explosiones, (12) balanza, (13) limpiador, (14) silo, (15) dispositivo magnético, (16) balanza, (17) aspirador, (18) residuo, (19) triadero, (20) silo de clasificación, (21) balanza

2.1.1 Recepción de la cebada

La entrega de la cebada se realiza con vehículos automotores o de carriles o con barcos.

Previo a la descarga se toma siempre una muestra y se la examina inmediatamente. Si la carga no se corresponde con la calidad acordada, la recepción es rechazada. Es por ello que la decisión respecto de la recepción debe ser tomada en el menor tiempo posible.

2.1.1.1 Recepción con vehículos automotores o de carriles

La cebada llega a la recepción en sacos o a granel.

Si la cebada es transportada a granel por ferrocarril, entonces el vaciado es realizado usualmente por un equipo neumático de aspiración o por una pala mecánica de vaciado. Cantidades mayores son transportadas en vagones silo con contenidos de hasta 64 t, los cuales se vacían de forma independiente por vuelco (Figura 2.3).

El tamaño del canalón y la capacidad de recepción dependen del tamaño de la maltería.

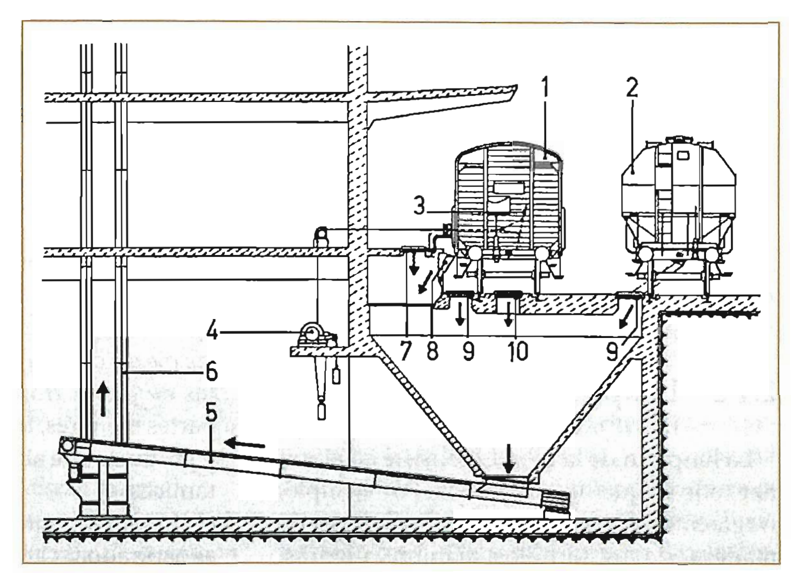
Si la entrega es realizada por camión, se debe entonces garantizar el vaciado del vehículo en el menor tiempo posible.

Las paredes laterales de los canalones de recepción son tan empinadas que la cebada es descargada completamente. Una rejilla de parrilla retiene cuerpos extraños de gran tamaño e impide el deterioro de las máquinas subsiguientes. En la descarga se produce polvo, que puede ser bastante desagradable. Este polvo debe ser removido.

2.1.1.2 Recepción con barcos

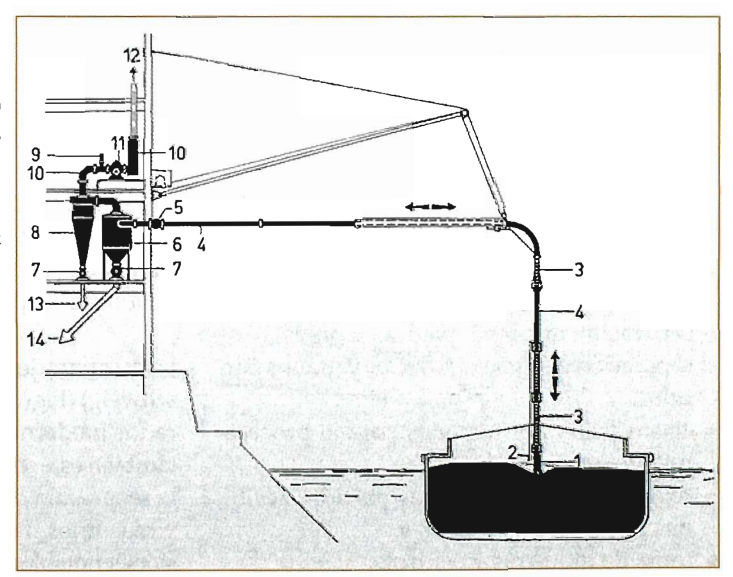
Hoy en día se prefiere construir las malterías modernas junto a hidrovías, dado que de esta manera se puede transportar la cebada de forma sencilla y relativamente económica hasta la maltería, pudiendo también embarcar la malta por la misma vía.

| ura 2.3: Recepción de la (ada con vehículos de c riles o automotores
(. vagón con piso plano
(. vehículo silo con descarga por gravedad
(+4) dispositivo de pala de descarga
(5) transportador de cadena con cajones
(6) elevador
(7) descarga de sacos sobre la rampa
(8) descarga de sacos al costado de la rampa
(9) descarga lateral
(10) descarga por debajo



El transporte por las vías fluviales en el interior del país se realiza con lanchas de carga, en lo posible hasta la maltería. Allí, las lanchas de carga son descargadas neumáticamente por transporte de aspiración, siendo la capacidad de transporte de 50 t/h y mayor (Figura 2.4). En el comercio internacional, los barcos son descargados muy a menudo también de forma mecánica. Debido a los bajos costos de operación, los barcos fluviales están equipados para ello con palas excavadoras, en tanto que los barcos de ultramar poseen dispositivos especiales de transporte (transportadores de cangilones, cintas de descarga).

Figura 2.4
Recepción de la cebada con barco
(1) *tobera de succión (regulable)*
(2) *ajuste de la tobera, en altura*
(3) *mangueras flexibles*
(4) *tubos rígidos*
(5) *articulación para ajuste en altura y lateral*
(6) *recipiente*
(7) *válvula esclusa de descarga*
(8) *separador ciclónico*
(9) *válvula de seguridad*
(10) *silenciador*
(11) *soplante de pistón rotativo*
(12) *salida de aire*
(13) *salida de polvo*
(14) *descarga de la cebada*



La cebada entregada es conducida a un silo de recepción. Durante este proceso se toma una muestra promedio, la cual es analizada en el laboratorio. Es necesario realizar controles, a través de ensayos rápidos antes de la descarga, a los efectos de evitar sorpresas posteriores.

La cebada es pesada antes de ser conducida a la prelimpieza. Los resultados del pesaje son anotados en el libro de pesajes, respectivamente registrados hoy en día por ordenador.

2.1.2 Limpieza y clasificación de la cebada

La limpieza de la cebada consiste en eliminar todo lo que no sea cebada. Por ejemplo, fragmentos de paja, cintas de sacos, trozos de madera, clavos, tornillos, alambre, piedras, granos extraños, granos rotos, etc.

Por supuesto que no se pueden eliminar todos estos cuerpos extraños con una sola máquina. Por ello, el proceso de limpieza de la cebada es realizado con varias máquinas y aparatos, conectados uno detrás del otro. En los últimos años ha habido un rápido desarrollo de estas máquinas. Es por eso que en las malterías se pueden encontrar los más diferentes equipos de limpieza de cebada.

Para ello, el tratamiento (limpieza) de la cebada consiste de las siguientes etapas de procesamiento:

- separación de suciedades bastas (prelimpieza),
- separación de granos extraños,
- separación de piezas metálicas (clavos, tornillos, etc.),
- desbarbado, siempre que ello sea necesario,
- separación de arena, piedras y polvo,
- separación de granos extraños y granos partidos,
- clasificación por tamaños para el procesamiento separado,
- registro de la masa de las partidas recibidas y del producto final, y
- toma de muestras y control.

2.1.2.1 Prelimpieza de la cebada

La prelimpieza consiste únicamente de una prelimpieza mecánica (aspirador, separador, aventador), y un dispositivo magnético.

Esto es seguido por el almacenamiento.

El primer equipo, a través del cual pasa la cebada, es el separador o aspirador. La prelimpieza se realiza aquí desde dos puntos de vista:

- las piezas de mayor tamaño, tales como cintas de sacos, trozos de madera, etc., y las
- partes menores, tales como granos de arena y productos de abrasión, son separadas por tamices, y
- el aire polvoriento con contaminantes leves es aspirado.

La figura 2.5 muestra un modelo más antiguo de un aspirador, que permite entender bien el principio básico de funcionamiento. El aire polvoriento es aspirado (4). Pero la velocidad del aire disminuye en el aspirador, debido al aumento de sección. Las partículas livianas, arrastradas por el aire, se depositan abajo y son removidas. La remoción de las partes más bastas y más finas se realiza luego por tamices vibratorios en la parte inferior de la máquina.

Los aspiradores modernos trabajan de forma similar, con una división de tareas en la máquina:

- con un juego de tamices vibratorios para la separación de las partes más bastas y más finas, y
- con una cámara separada de expansión para la remoción de las partes livianas, con retorno de la mayor parte del aire de aspiración utilizado.

El separador "Classifier" (Bühler, Braunschweig) (Figura 2.6) es un ejemplo de un aspirador moderno. Como todos los aspiradores, también este separador posee dos tamices para la separación de los contaminantes más bastos y más finos. Pero por supuesto, tiene dimensiones notablemente mayores y está diseñado

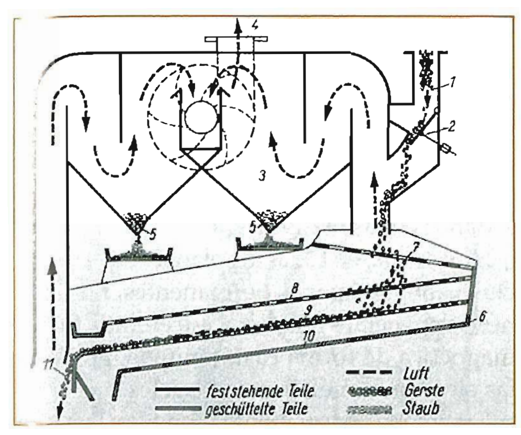


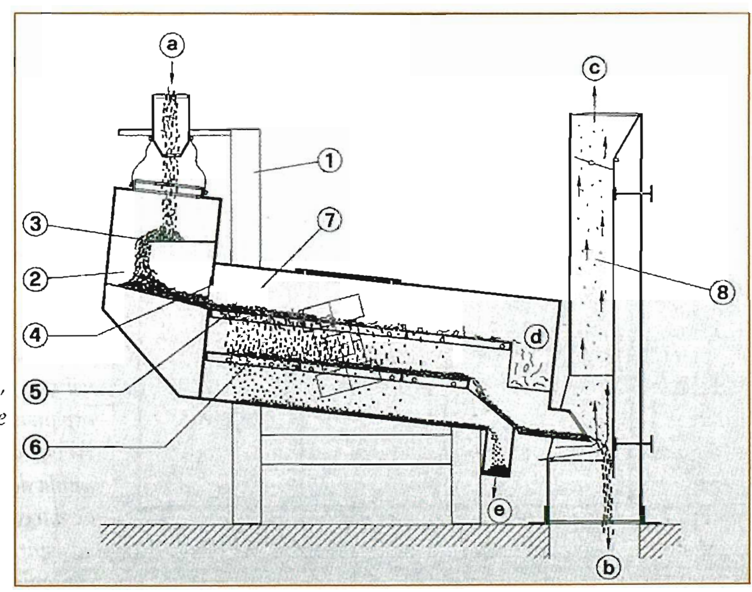
Figura 2.5
Prelimpiador por aspiración (diseño antiguo)
(1) entrada de la cebada, (2) regulador de entrada, (3) cámaras de polvo, (4) conexión de aspiración para la remoción de polvo, (5) trampas de descarga, (6) juego de tamices vibratorios con accionamiento excéntrico, (7) tamiz corto de granos, (8) tamiz largo de granos, (9) tamiz de arena, (10) placa de descarga de residuos, (11) salida de la cebada

para limpiar hasta 24 t/h. El accionamiento está ubicado en el centro de gravedad del cajón, en forma de dos motores desequilibrados, los cuales giran de forma sincrónica y en sentidos opuestos. De esta manera se elimina la vibración lateral, transformándola en un movimiento de ida y vuelta.

En el canal de aspiración ubicado posteriormente, las partes livianas pueden ser extraídas del flujo de producto, siendo luego removidas en una aspiración central (remoción de polvo).

Para la remoción de polvo aéreo en los equipos, se utilizan hoy en día aventadores por aire de circulación. Un aventador es un equipo para remover del flujo de producto las partes livianas (Figura 2.7). Por medio de un motor desequilibrado (1), se abre repetidamente la base del recipiente (2), dejando salir un flujo uniforme y regulable, el cual es sometido inmediatamente a una corriente de aire que conduce las partes livianas, en tanto la cebada cae hacia abajo. La corriente de aire suministrada puede ser regulada (5). El espacio se agranda en la parte superior del aventador y, por disminución de la velocidad de flujo, las partes livianas

Figura 2.6
Separador "Classifier"
(1) bastidor
(2) caja de entrada
(3) distribución de producto
(4) válvula distribuidora
(5) tamiz principal
(6) tamiz de arena
(7) caja de tamices
(8) canal de aspiración
a) entrada de la cebada,
b) salida de la cebada limpiada,
c) conexión a la remoción de polvo,
d) salida de contaminantes bastos,
e) salida de contaminantes finos (arena, etc.)



caen hacia abajo y son removidas a través de la válvula esclusa (8).

El aire de extracción es retornado a través de un conducto de aire y reutilizado en el circuito para la remoción de los contaminantes. Aproximadamente el 10% del aire de extracción es entregado a la aspiración central, para que se forme una depresión durante la alimentación de granos y el sistema opere libre de polvo.

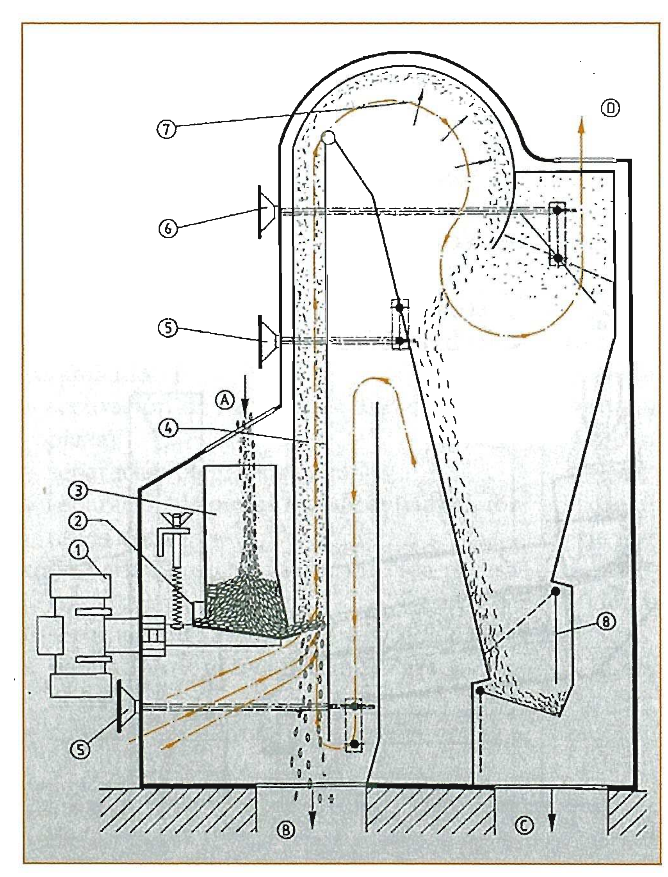
2.1.2.2 Aparatos magnéticos

En el principio de los procesos se instalan aparatos magnéticos, a los efectos de evitar daños por parte de las piezas de hierro que nadan en el flujo de producto. El daño ocurre por:

- atascamiento de piezas metálicas y esmerilado hasta el rojo vivo, o
- chisporroteo en máquinas de marcha rápida, y con ello
- ocurrencia de explosiones por polvo e incendios, así como
- daños en las máquinas.

Hoy en día, en todas las plantas hay casi exclusivamente imanes permanentes. Los imanes permanentes mantienen su elevada fuerza magnética de forma casi ilimitada, gracias a las aleaciones metálicas especiales.

Los imanes permanentes son instalados en el plano inclinado (Figura 2.8), repartiéndose el flujo de cebada sobre todo el ancho. Las piezas de hierro deben ser removidas regular y



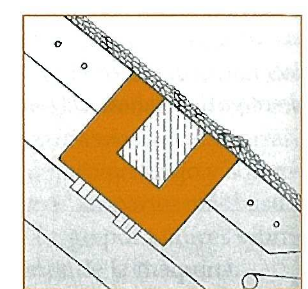


Figura 2.8
Imán permanente

Figura 2.7
Aventador de circulación de aire
(1) motor desequilibrado, (2) base del recipiente con ajuste regulable (dispositivo alimentador), (3) recipiente de alimentación, (4) pared ajustable de canal, (5) dispositivo de ajuste para el canal de subida, (6) regulación de aire con válvula de regulación, (7) cámara de expansión, (8) válvula esclusa
A) entrada de la cebada sin limpiar, B) salida de la cebada limpiada, C) descarga de residuos pesados, D) aire de aspiración al separador ciclónico, conteniendo residuos livianos

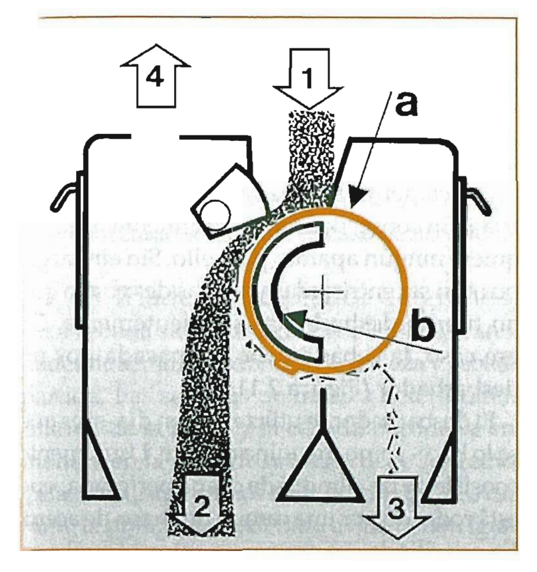


Figura 2.9
Tambor magnético con separación automática de piezas de hierro
(1) entrada de la cebada, (2) salida de la cebada, (3) piezas de hierro, (4) conexión para la aspiración de polvo, a) tambor rotante, b) bloque magnético

completamente; si el vaciado es olvidado, las piezas metálicas serán arrastradas nuevamente por la corriente, siendo el daño tanto mayor.

Los aparatos de tambor magnético con separación automática de piezas de hierro (Figura 2.9) son otra posibilidad. Las pequeñas piezas metálicas retenidas sobre el tambor rotante (a) por el imán permanente estacionario (b) caen tan pronto como el tambor abandona la zona del imán. Las máquinas y equipos descriptos a continuación corresponden a la limpieza principal de la cebada.

2.1.2.3 Separador seco de piedras

El imán separa piezas de hierro. Pero no lo hace con piedras del tamaño aproximado de un grano, que continúan estando contenidas. Para su remoción se utilizan separadores secos de piedras (Figuras 2.10 y 2.10a).

La cebada llega a través de la entrada (6) a un plano inclinado (1), el cual tiene un movimiento vibratorio causado por un motor desequilibrado

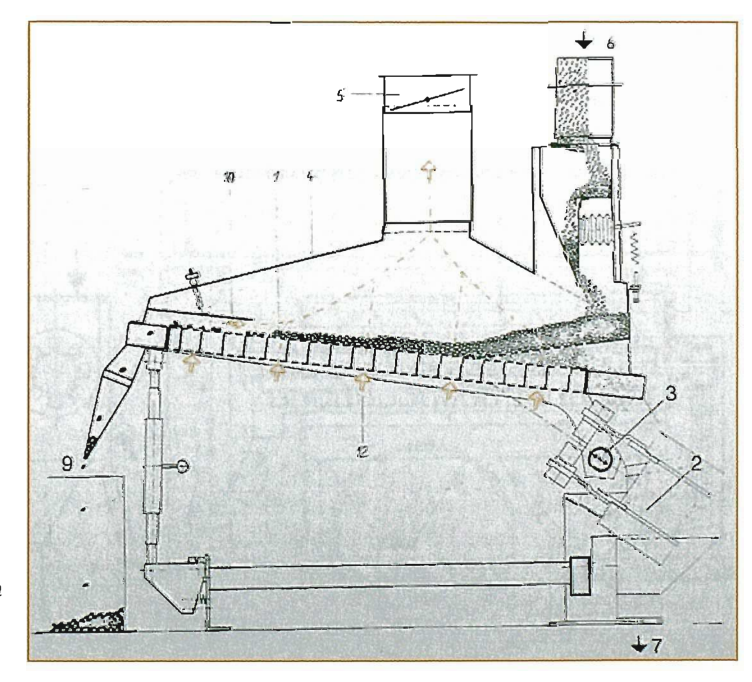


Figura 2.10
Separador seco de piedras

- *(1) plano inclinado de trabajo*
- *(2) motor desequilibrado*
- *(3) dirección en que opera el motor desequilibrado*
- *(4) cubierta*
- *(5) conexión de aspiración y válvula de estrangulación*
- *(6) entrada de la cebada*
- *(7) salida de la cebada*
- *(8) ruta de las piedras*
- *(9) salida de las piedras*
- *(10) fin de la zona de separación*
- *(11) ruta de la cebada*
- *(12) suministro de aire*

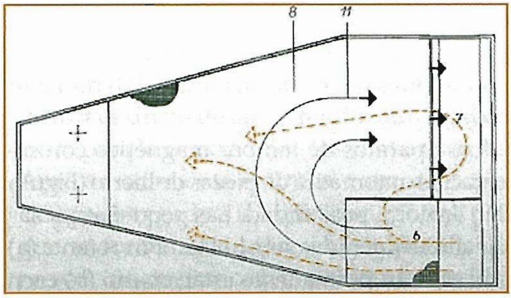


Figura 2.10a
Sentido de movimiento en el tamiz de separación

(2). De esta manera, tiene lugar un efecto de transporte dirigido hacia arriba. Éste transporta hacia arriba los cuerpos que se encuentran sobre la alambrera. Un flujo uniforme de aire eleva un poco los granos más livianos, que nadan sobre este colchón de aire hacia abajo, sobre el plano inclinado, en tanto que las piedritas más pesadas son conducidas hacia arriba por el tamiz vibratorio, y así hasta la salida (9).

Los separadores secos de piedras se encuentran menos en la maltería, debido a que allí las piedras tan pequeñas no interfieren en la producción. Por eso, se los encuentra hoy en día cada vez más a menudo en la fábrica de cerveza, donde son intercalados antes del molino, a los efectos de evitar deterioros en los rodillos y un desafilado rápido de los rodillos estriados, incrementando así su vida útil.

2.1.2.4 Desbarbador

Básicamente, la cebada es desbarbada en la trilla. En consecuencia, normalmente no se requiere ningún aparato para ello. Sin embargo, pueden ser entregadas partidas de cebada que no fueron desbarbadas suficientemente. En ese caso, la cebada debe ser pasada por un desbarbador (Figura 2.11).

El desbarbador se utiliza hoy en día -si es que se lo hace- como máquina de roce. Usualmente consiste de un cilindro de chapa perforada, que está rodeado por una camisa de chapa de acero. En ese cilindro se mueve un rotor, el cual a su vez mueve intensamente los granos entre sí.

El accionamiento de batidores recoge la masa de granos y la empuja en dirección de la salida. Debido al tratamiento por parte de los batidores, los granos rozan intensivamente entre sí; se desprenden con ello las barbas. Sin embargo, todavía hay más producto de abrasión, que al final abandona el desbarbador, junto con la cebada.

Las máquinas de roce más nuevas generan su efecto de roce por la interacción entre los boto-

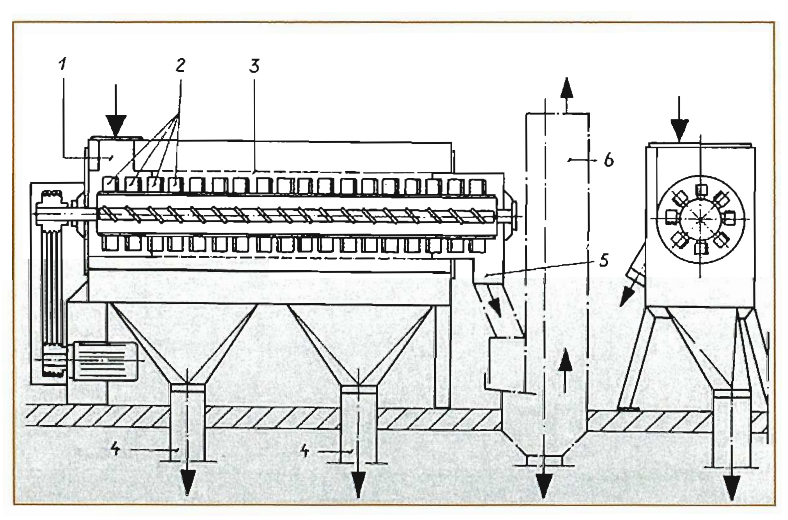


Figura 2.11
Máquina desbarbadora por roce con canal de aspiración
(1) entrada de la cebada
(2) batidores
(3) cilindro de chapa perforada
(4) salida de la camisa
(5) salida de la cebada
(6) aspiración de polvo

nes del rotor y el tejido de la camisa filtrante o entre botones estáticos y botones móviles.

Dado que se debe conectar detrás por lo menos un canal de aspiración o un aventador, tiene más sentido instalar el desbarbador antes del aspirador, disponiéndolo de manera tal que sea interconectado solamente en caso de necesidad.

2.1.2.5 Triadero (limpiador de granos)

La cebada siempre contiene pequeñas cantidades de semillas redondas de maleza y cebada partida. Las semillas de maleza deterioran la calidad de la malta y la cebada partida se enmohece en la zona de rotura y debe ser removida. Pero estos granos no fueron extraídos durante la prelimpieza, debido a que tienen igual tamaño que los granos de cebada. Para su remoción se utilizan triaderos.

El triadero está formado por un cilindro horizontal de chapa de acero común o chapa de acero inoxidable, que está inclinado 2 a 3 % y tiene un diámetro de 40 a 70 cm y una longitud de 1,5 a 2,0 m. Este cilindro se puede mover con una velocidad tangencial de 1,0 a 1,5 m/s, dependiendo de la capacidad requerida. En la pared interior del cilindro hay bolsillos semiesféricos encajados a presión, cuyos tamaños pueden variar entre 1,25 y 26 mm, según el requerimiento de clasificación. Para la selección de la cebada se utilizan bolsillos de 6,5 mm de diámetro.

La cebada es introducida en el triadero y el cilindro rota con 20 a 50 rpm. Los granos de cebada son arrastrados por el cilindro rotante, hasta que vuelven a caer, por peso propio, desde la altura correspondiente. Este proceso se repite varias veces, mientras la cebada se desliza lentamente hacia abajo en el cilindro, siendo removida al final (Figura 2.12).

Las semillas redondas y la cebada partida son, sin embargo, llevadas por los bolsillos más hacia arriba. Recién en la parte superior del triadero caen hacia afuera, por su propio peso, siendo recogidas en una cubeta y transportadas hacia la salida. Estos triaderos son llamados triaderos de grano redondo.

Por el contrario, en los triaderos de grano largo el producto bueno (en este caso la cebada) es extraído del producto residual (por ejemplo avena).

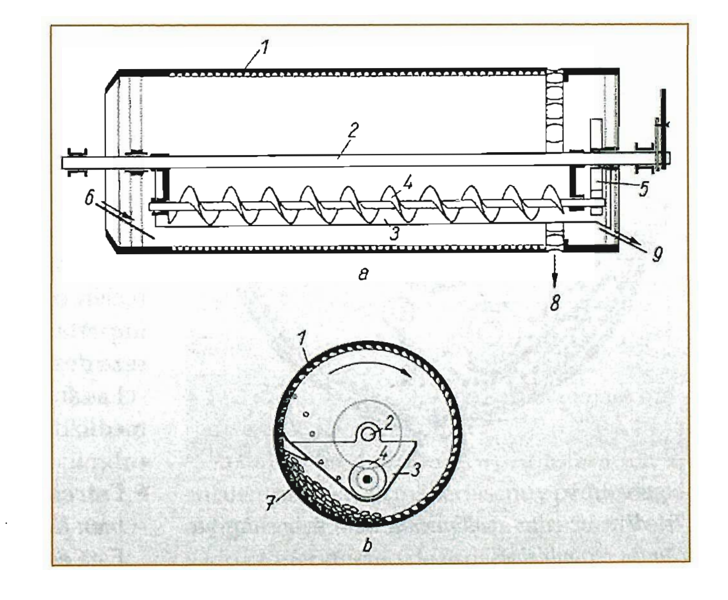


Figura 2.12
Aventador (triadero)

a) corte longitudinal
b) corte transversal
(1) camisa del triadero
(2) eje principal
(3) cubeta del triadero
(4) transportador por tornillo
(5) accionamiento de transportador por tornillo
(6) entrada de la cebada
(7) "riñón" de la cebada
(8) salida de la cebada
(9) salida de la cebada partida

Pero en la maltería se utilizan casi solamente triaderos de grano redondo.

El límite de separación entre ambas fracciones puede ser regulado no solamente por tamaño de celda, sino también por la altura del borde de cubeta y por la velocidad. Por ello, la altura del borde de cubeta es regulable desde afuera.

Puede suceder que granos de cebada cortos y llenos sean evacuados a la cubeta. Esto implicaría una pérdida. Por otro lado, tampoco puede descartarse que queden granos partidos en el flujo principal, reduciendo con ello la calidad. Para impedir esto, se intercalan a veces uno o varios cilindros postseleccionadores después del cilindro del triadero principal. De esta manera se puede obtener una selección muy precisa.

Los triaderos grandes, de alto rendimiento, tienen a menudo segmentos de camisa recambiables. Se encuentran también frecuentemente insertos que impiden la formación de capas de producto más liviano y de producto más pesado dentro del riñón de la cebada, lo cual reduciría el rendimiento del triadero (Figura 2.13). Hoy en día se construyen triaderos con un caudal de hasta 15 t/h.

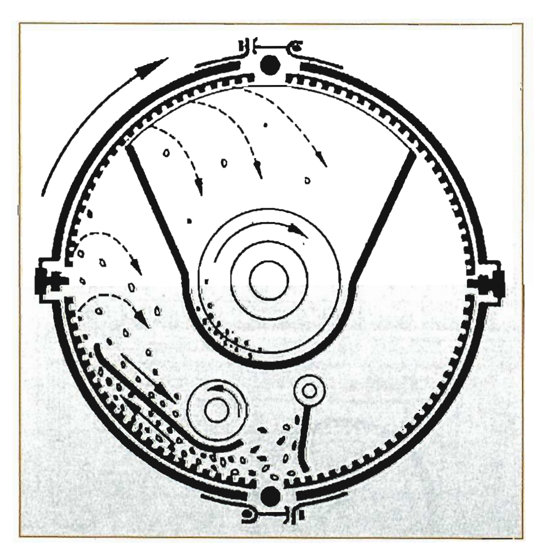


Figura 2.13
Triadero de alto rendimiento con segmentos de camisa recambiables

2.1.2.6 Clasificación de la cebada

2.1.2.6.1 Principios de la clasificación

Hasta ahora han sido removidos en la limpieza de la cebada contaminantes bastos y pequeños, polvo, piezas de hierro y cuerpos redondos. La cebada está ahora compuesta -salvo por pequeños agregados de granos de cereales extraños de casi igual tamaño que los de cebada- por granos de cebada de tamaños diferentes.

Los granos grandes, hinchados, contienen más almidón que los granos pequeños y angostos, razón por la cual se prefiere a los primeros. Pero en el remojo, los granos pequeños absorben el agua más rápidamente que los granos grandes, lo cual resultaría en una calidad irregular de la malta, si no se los separara.

Es por ello que la cebada es clasificada, a través de tamices con anchos de ranura de 2,2 y 2,5 mm, en fracciones de granos de igual tamaño, a los efectos de obtener una malta uniforme.

Dado que la diferencia en la absorción de agua entre los granos más grandes y los más pequeños es muy grande al principio -pero se reduce luego cada vez más-, muchas malterías desisten hoy en día de una clasificación ulterior y maltean todos los granos al mismo tiempo (a menudo a partir de anchos de grano de 2,2 mm); la clasificación se realiza, a veces, recién con la malta terminada. Mucho más importante que el tamaño de grano es la pureza de variedad de la partida de cebada.

La cebada es dividida en tres fracciones, por medio de dos tamices:

- ***Fracción 1, 1a variedad o cebada de granos bien llenos***

  Esta es la fracción de la cebada que es rete-

ida por el tamiz con ancho de ranura de 2,5 mm. La cebada de granos bien llenos está compuesta por los granos más grandes y más hinchados, de los cuales también puede esperarse el mayor rendimiento. Es por ello que éstos son más apropiados para la elaboración de malta y cerveza. La porción de granos de cebada bien llenos debe ser lo más elevada posible. Es una característica importante de calidad de la cebada, según la cual se rige el precio.

- *Fracción 2, 2a variedad o cebada industrial*
  Esta denominación abarca la porción de la cebada que pasa a través del tamiz de 2,5 mm, pero que es retenida por el tamiz de 2,2 mm. Esta fracción solamente debe ser pequeña. La 2a variedad es procesada separadamente.

- *Borra*
  Todo lo que pasa a través del tamiz de ranuras de 2,2 mm cae bajo esta denominación. La borra está compuesta por granos delgados de bajo valor y no sirve para la fabricación de malta. Sirve como forraje. El mayor contenido de borra puede ser como máximo 2,5%, pero también pueden ser acordados valores más bajos entre el proveedor y el cliente. La porción de borra depende del año de cosecha.

Para la clasificación, se diferencia entre cilindro de clasificación y planchíster, según la forma de las chapas de clasificación.

2.1.2.6.2 Cilindro de clasificación

El cilindro de clasificación está compuesto por un marco rotante de chapa de acero, levemente inclinado, de aproximadamente 0,6 m de diámetro y 2 a 3 m de longitud, sobre el cual se encuentran extendidos tamices con ranuras de aproximadamente 25 mm. Los tamices más frontales tienen ranuras de 2,2 mm de anchura. En la segunda mitad del cilindro se encuentran las ranuras con anchura de 2,5 mm. En los equipos de gran caudal hay un cilindro propio para cada dimensión.

Mientras la masa en forma de "riñón" se mueve lentamente hacia abajo, cada grano entra en contacto repetidamente con una de esas ranuras: el grano pasa a través de éstas o es retenido sobre las mismas. Pero si el diámetro del grano es justo igual al ancho de la ranura, queda retenido dentro de la misma. A los efectos de evitar un taponamiento, se dispone de un cepillo cilíndrico móvil para la limpieza del tamiz. La superficie del tamiz es aprovechada solamente en un 25 %, dado que la parte superior de la cubierta del cilindro no entra en contacto con la cebada. En los cilindros modernos de alto rendimiento, el área del tamiz es aprovechada en casi un 50 %, por medio de palas lanzaderas incorporadas. Al mismo tiempo, se evita así que los granos que se encuentran en el medio del riñón de cebada no lleguen nunca hacia afuera (Figura 2.14).

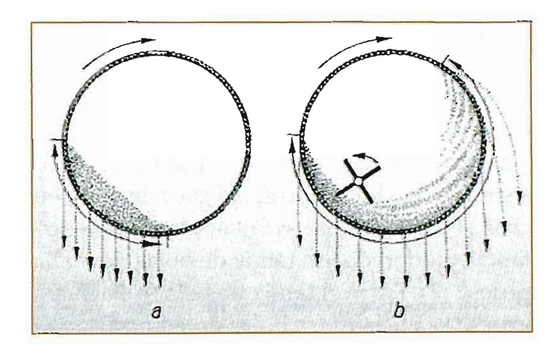


Figura 2.14
Aumento del área de clasificación usando un rodillo distribuidor
a) cilindro de clasificación, b) cilindro de clasificación de alto rendimiento

- Los cilindros de clasificación tienen un rendimiento de 1 a 6 t/h.

Actualmente, los cilindros de clasificación se encuentran sólo en malterías muy peque-ñas y antiguas, debido a su muy baja capacidad y elevado requerimiento de espacio.

2

2.1.2.6.3 Planchíster

Una planchíster es una máquina de clasificación compuesta por 20 a 28 marcos de tamices con superficie filtrante horizontal, ordenados de forma superpuesta. Planchíster de varillas tubulares metálicas o de fibra de vidrio y es Sometida a un movimiento de giro y rotación por un accionamiento excéntrico. Con ello, los granos de cebada a ser clasificados son distribuidos permanentemente sobre toda la superficie filtrante y cambian así constantemente su orientación y posición.

El suministro y la remoción de la cebada se realizan a través de tubos de tela, dado que no es posible una conexión fija, debido al movimiento rotatorio.

El accionamiento del planchíster es realizado por un motor con accionamiento por correa sobre el eje vertical o por un motor cooscilante. En todos los casos, el motor está conectado a un contrapeso de plomo para balanceo, el cual determina el diámetro de subida circular. El diámetro de subida circular es aproximadamente 74 mm a 220 rpm.

Los marcos de tamices (Figura 2.15) consisten de la chapa clasificadora ranurada en cruz (1), bajo la cual se encuentra, a una distancia moderada, un tamiz de bolas de malla gruesa (2). Entre el tamiz de bolas y la chapa gruesa se encuentran bolas de goma (3), piezas moldeadas de material plástico u objetos similares, que son mantenidos permanentemente en movimiento saltarín por el movimiento excéntrico. Se evita así el taponamiento de las chapas clasificadoras por parte de aquellos granos que tienen justo ese tamaño de agujero. Para que las bolas o las piezas moldeadas queden en su sector, se disponen divisores de sectores (4). Unas piezas moldeadas de material plástico, ubicadas sobre la placa de descarga como limpiadores de fondo, mantienen limpio el fondo del tamiz.

Los planchísteres modernos se construyen hoy en día como tamices clasificadores cortos en cajones. Aquí los elementos tamizantes están dispuestos uno al lado del otro y uno detrás del otro, como en una cajonera, de forma tal que todos los elementos tamizantes estén utilizados plenamente. Para ello, se divide el flujo entrante de producto en varios flujos parciales (Figura 2.16) y se lo distribuye sobre varios tamices, según las porciones de las diferentes dimensiones. De este modo, se logra una muy buena clasificación. En la figura del planchíster de alto rendimiento "Quadrostar" (Figura 2.17) se encuentra abierto el compartimiento intermedio, pudiéndose ver los elementos tamizantes ordenados uno sobre el otro.

Otro ordenamiento de los elementos clasificadores planos es mostrado por el esquema de tamices de la máquina clasificadora TS200 de la empresa Schmidt, Beilngries (Figura 2.18): la cebada es distribuida y clasificada sobre grandes superficies filtrantes. Éstas son mantenidas libres con bolas de goma y piezas

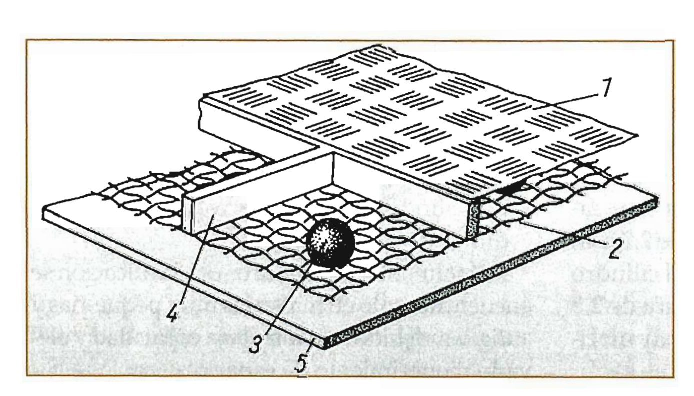


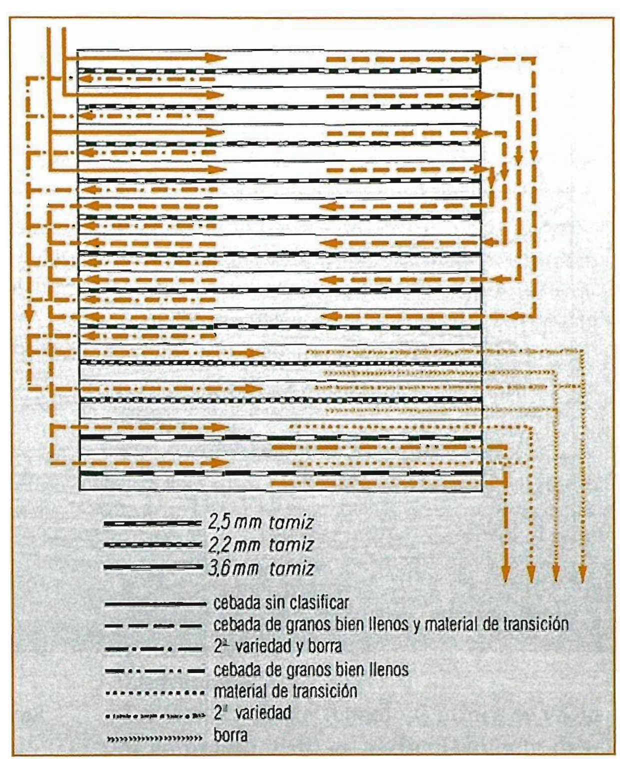
Figura 2.15
Elemento clasificador

(1) chapa clasificadora
(2) tamiz de bolas
(3) bolas de goma
(4) división de sectores
(5) placa de descarga

Figura 2.16
Modo de funcionamiento del planchister (principio de operación)

La cebada entrante es dividida en varios flujos parciales que pasan separadamente por varios tamices con ranuras de 2,5 mm de ancho, siendo luego clasificados por varios elementos con tamices de 2,2 mm.

Esto es necesario porque la mayor porción de la cebada está compuesta por cebada de granos bien llenos, de 2,5 mm y mayores, siendo bien separada de esta manera la porción de 2a variedad. Las porciones menores de borra y el material de transición son separados luego en algunos pocos elementos clasificadores.



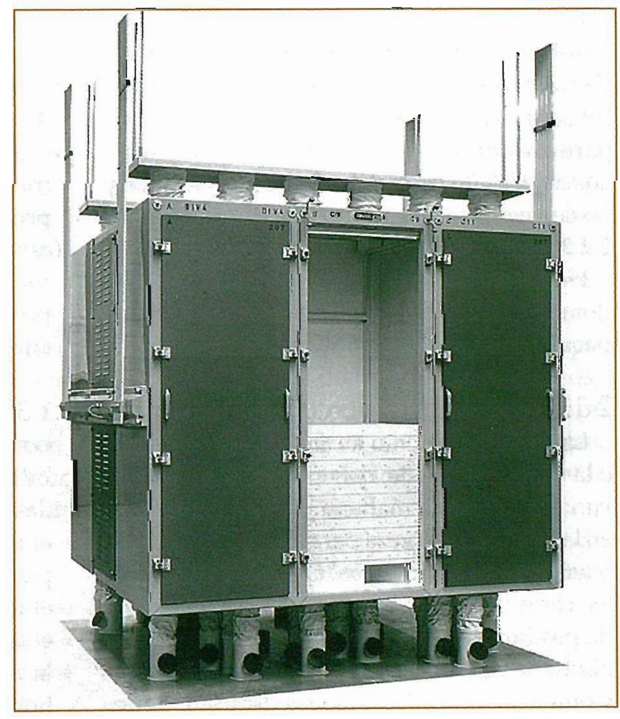
2

Figura 2.17
Planchister de alto rendimiento "Quadrostar"

(Bühler, Braunschweig)

Parte intermedia abierta; se ven algunos elementos clasificadores.

Los elementos clasificadores se encuentran ordenados uno sobre el otro y, en caso de necesidad, pueden ser extraídos sin problemas para limpieza, reparación o recambio. También es bien visible la suspensión del planchister. Una conexión rígida a través de elementos rotatorios requiere de más energía y está más sujeta al desgaste.



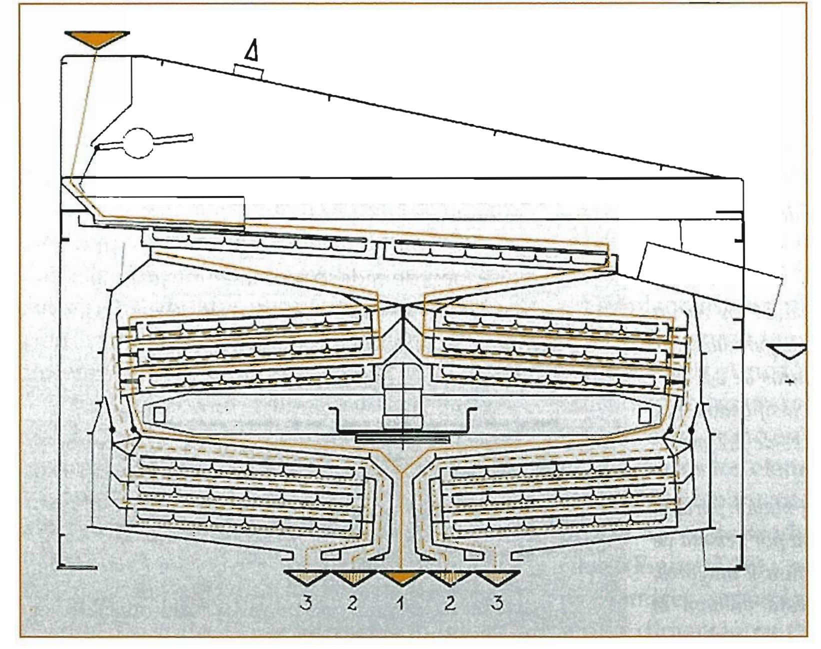


Figura 2.18

Máquina clasificadora TS 200

(Empresa Schmidt, Beilngries)
(1) 1a variedad
(2) 2a variedad
(3) borra
(4) material de transición

moldeadas. El aire polvoriento es aspirado y recirculado en aproximadamente un 85 %, luego de una remoción basta de polvo. Una parte menor del aire polvoriento es derivada a la aspiración central. La remoción de polvo no se ve en la figura (al respecto ver Sección 2.1.2.1 Aventador).

Hoy en día se construyen plantas clasificadoras con muy buena clasificación y con capacidades de 15 t/h y mayores.

2.1.3 Transporte de cebada y malta

La cebada, así como también la malta verde o la malta terminada, deben ser transportadas varias veces en la maltería. Ello también vale en la fábrica de cerveza para el transporte de la malta hasta la trituración. Dado que en todos los casos se deben mover grandes cantidades de producto a granel, es de interés que los caminos de transporte sean lo más cortos posible y que sean utilizados aquellos dispositivos de transporte donde los costos sean los más económicos posibles.

Básicamente, se diferencian en esto dos grupos de dispositivos de transporte:

- *transportadores mecánicos*, en los cuales el producto a granel es movido de forma mecánica, y
- *transportadores neumáticos*, en los cuales el producto a granel es movido por una corriente de aire en tubos.

2.1.3.1 Transportadores mecánicos

Los transportadores mecánicos mueven el producto a granel por medio de piezas movidas mecánicamente. Se diferencia:

- el transportador o elevador de cangilones para el transporte vertical,
- el tornillo transportador,
- el transportador de cadena encajonado, y
- la cinta transportadora para el transporte horizontal.

2.3.1.1 Transportador o elevador de cangilones

Construcción: el transportador de cangilones (Figura 2.19) está compuesto por una cinta sin fín (3) de tejido de algodón, material sintético o cadenas, la cual es movida por dos poleas (1 y 2) ubicadas verticalmente una sobre la otra. En intervalos de 0,3 a 0,4 m están colocados los cangilones, de los cuales cada uno contiene 2 a 15 l de cebada o malta.

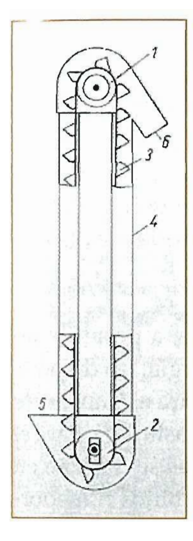


Figura 2.19
Transportador o elevador de cangilones

(1) *polea superior con accionamiento*
(2) *polea inferior con dispositivo tensor*
(3) *cinta transportadora con cangilones*
(4) *cubierta*
(5) *canalón o artesa inferior*
(6) *salida de descarga*

Los cangilones son:

- de chapa de acero soldada,
- de chapa embutida (cangilón tipo Columbus) o
- de material sintético.

El accionamiento del elevador es realizado en la polea superior (1), dado que ahí es soportada la masa total de la cinta.

El transportador con cangilones muestra en el extremo inferior un dispositivo tensor (2), con el que debe ser mantenida siempre tensa la cinta con cangilones (3).

Para la prevención de accidentes y para evitar pérdidas, el transportador está cubierto con chapa o -en instalaciones más antiguas- con madera (4). En este último caso existe un mayor riesgo de incendio.

Modo de funcionamiento: La cinta con los cangilones es movida con una velocidad máxima de 4 m/s con cebada y de 2,5 m/s con malta. Los cangilones toman el material a transportar de la artesa inferior (5) y lo llevan hacia arriba. Al revertir el sentido en la polea superior se vacían, fluyendo el producto a granel a la salida de descarga (6).

Para el transporte de malta verde se utilizan elevadores de cadena o cintas, junto con un tambor de enrejado, a los efectos de impedir que la cinta marche oblicuamente, debido a depósitos de material de germinación húmedo.

Ventajas:

El transportador de cangilones es el dispositivo de transporte más rentable para el transporte vertical, debido a su reducido consumo de energía. Es por ello que es ampliamente usado. Es fácil de operar y tiene una gran confiabilidad operacional, con poco cuidado y mantenimiento.

Desventajas:

La artesa inferior (canalón) nunca se vacía por completo. Esto es particularmente desventajoso cuando se desea transportar diferentes productos a granel con el mismo elevador. Es por ello que el canalón debe ser limpiado después de cada uso. En el caso de un corte de corriente, puede llegar a ocurrir que el elevador se mueva en sentido inverso hacia atrás, debido a que los cangilones llenos del lado ascendente de la cinta tiran de la misma hacia abajo. Por este motivo, el elevador debe ser provisto de un dispositivo antiinversor. Los elevadores pertenecen al grupo de los dispositivos de transporte peligrosos, dado que las cintas o los cangilones que rozan o la marcha oblicua de las cintas pueden causar incendios o explosiones por polvo. Consecuentemente, se controla el elevador en las grandes plantas con monitores de velocidad y de desplazamiento oblicuo. A los efectos de evitar un desplazamiento oblicuo de la cinta, el rodillo de la misma es levemente abombado. Es decir, de mayor diámetro en el medio que en los costados.

En instalaciones menores, los transportadores de cangilones son fabricados a menudo en forma de planchas circulares. Éstas están unidas rígidamente entre sí en intervalos cortos, siendo guiadas en tubos de material plástico (Figura 2.19a).

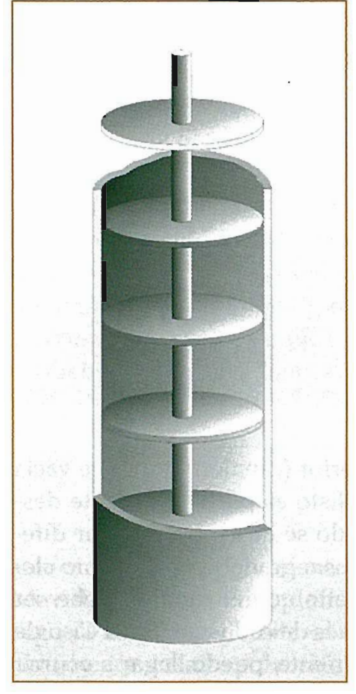


Figura 2.19a Transportador de cangilones pequeño con planchas circulares

2.1.3.1.2 Tornillo transportador

El tornillo transportador (transportador de tornillo sinfín) es desde siempre el elemento de transporte más utilizado para el transporte horizontal de productos a granel, tales como cebada y malta.

El tornillo (o hélice) de chapa de acero se mueve en una artesa de acero, la cual está protegida contra acceso no autorizado por una cubierta desmontable (Figura 2.20). El tornillo está soportado cada 2 a 3 m, para evitar que combee. El accionamiento del eje es realizado por un motor; la velocidad de rotación del eje está por debajo de las 200 rpm, por lo cual es necesario un motorreductor.

Al girar, el tornillo empuja cuidadosamente la cebada o la malta hasta el lugar de descarga previsto, con forma de corredera de descarga.

La descarga ocurre sencillamente por apertura de una de las correderas de descarga, ubicadas debajo de la artesa. La artesa debe estar llena solamente hasta un tercio, dado que de lo contrario el tornillo envía hacia atrás, por la parte superior, la cantidad ya transportada.

Ventajas:

El tornillo transportador es, a pesar de tener un gran consumo de energía, un dispositivo de transporte rentable para el transporte horizontal (o pendientes de hasta 30°). Para el transporte en distancias cortas se utilizan en las malterías casi siempre tornillos transportadores.

Desventajas: Entre la artesa y el paso del tornillo debe haber siempre una luz de 3 a 5 mm, dado que si no el tornillo roza con la artesa. De esta manera, no tiene lugar un vaciado completo de la artesa. Esto es particularmente muy desventajoso en el transporte de malta verde. Además, con el tiempo se afilan los bordes de la hélice, pudiendo causar deterioros en los granos, sobre todo en el transporte de malta verde.

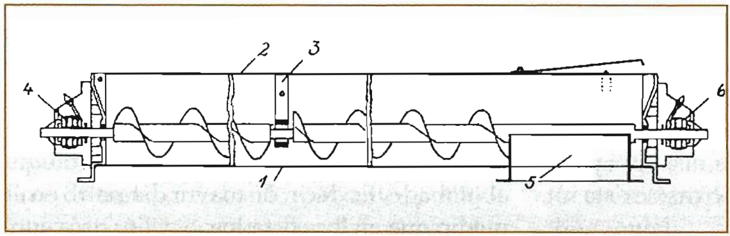


Figura 2.20: Tornillo transportador
(1) artesa, (2) cubierta de artesa, (3) cojinete intermedio, (4) cojinete final, (5) lugar de descarga al final, (6) accionamiento

.os tornillos sinfín son utilizados:

- omo sinfín completo del tipo convencio-ıal,
- omo sinfín de banda con parte interior ıbierta,
- omo sinfín de paletas, similar al sinfín de banda, pero con arcos desplazados,
- como sinfín de paletas con paletas individuales (Figura 2.21).

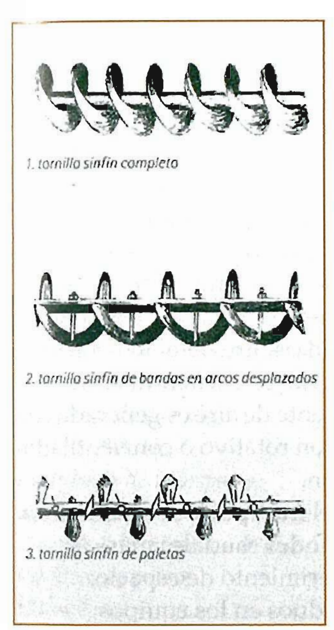


Figura 2.21 Tipos de tornillos sinfín

Encontraremos los tornillos sinfín en sus diferentes formas también dispuestos verticalmente, para el volteo de la malta verde en plantas neumáticas.

Un dispositivo de transporte similar al tornillo transportador es el "Flex auger". Este transportador está compuesto por un tornillo sinfín sin eje y de acero para resortes, el cual se mueve dentro de un tubo flexible de polietileno, moviendo así el producto a granel. El tubo, que es vaciado completamente por la rosca sinfín adyacente, puede ser instalado flexiblemente también en curvas y pendientes de hasta 45°.

2.1.3.1.3 Transportador de cadena encajonado

El transportador de cadena encajonado es un dispositivo para transportar horizontalmente, así como también de forma inclinada (sinónimo: Redler).

Una cadena sinfín de planchuelas en horquilla, con travesaños conformados específicamente, se mueve dentro de una artesa rectangular plana (Figura 2.22) a una velocidad de 0,4 a 0,6 m/s. La artesa puede ser llenada entre 2/3 y 3/4 de su altura con malta o cebada. El producto es arrastrado por el movimiento de la cadena. El transportador de cadena causa un ruido considerable -sobre todo cuando se mueve sin carga- debido al roce de los eslabones de la cadena sobre el fondo metálico.

El accionamiento se realiza por medio de una rueda dentada para cadena en la estación de accionamiento. La descarga de los productos ocurre enteramente en la estación de

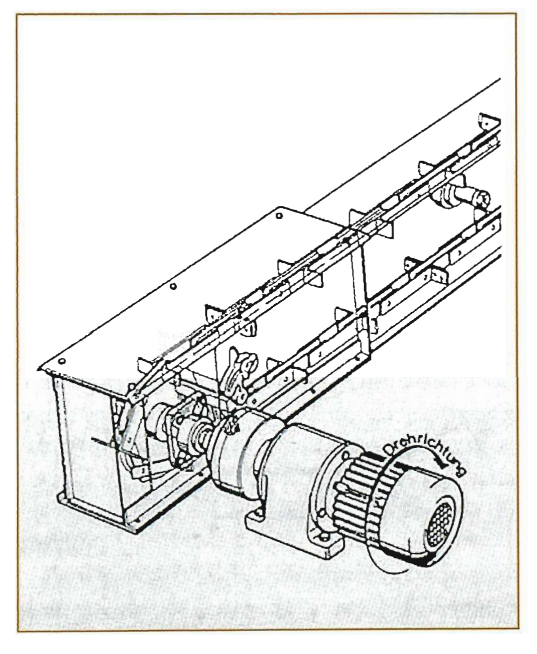


Figura 2.22: Transportador de cadena encajonado (Redler)

accionamiento, con la cadena traccionando. Pero también puede ocurrir en salidas intermedias. El vaciado de la artesa no es del todo completo.

Los transportadores de cadena trabajan libres de polvo, y son equivalentes o mejores que la mayoría de los otros dispositivos de transporte en lo referente al consumo de energía.

2.1.3.1.4 Transportadores por cinta

La cinta transportadora se caracteriza por el transporte cuidadoso y su bajo requerimiento de energía. El espacio necesario es relativamente grande, pero se la puede utilizar para muy grandes caudales másicos. Las posiciones de alimentación y descarga deben estar diseñadas de manera tal que se eviten pérdidas de producto y la formación de polvo. La posición de descarga puede ser móvil.

La cinta transportadora está compuesta, por lo general, por goma con entretelas. Según el producto a transportar, se la conduce plana o con forma de artesa (Figura 2.23). Las cintas con forma de artesa tienen mayores rendimientos, dado que pueden recibir más producto sin riesgo de pérdidas.

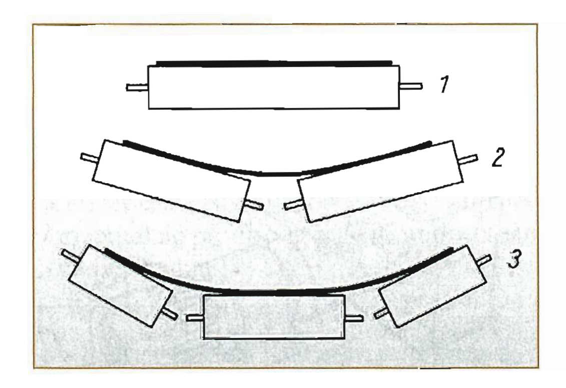


Figura 2.23
Formas de la cinta en transportadores por cinta (1) cinta simple, (2) cinta con forma de artesa, (3) cinta con forma de artesa con rodillo central

La cinta es movida con una velocidad de 2 a 3 m/s. Un dispositivo mantiene siempre tensa la cinta, a través de un rodillo tensor. El accionamiento es realizado a menudo a través de tambores de cinta eléctricos.

2.1.3.2 Dispositivos de transporte neumáticos

Junto con los dispositivos de transporte mecánicos, se encuentran en la maltería y la fábrica de cerveza los dispositivos de transporte neumáticos para el transporte interno de producto a granel sin embalar.

En los dispositivos de transporte neumáticos, la cebada o la malta son llevadas dentro de tubos por una fuerte corriente de aire. Para que el producto a transportar sea mantenido flotando en el aire, se requiere una velocidad de aire de 11 m/s. Pero para poder mover el producto de manera segura, se debe trabajar con una velocidad de aire notablemente mayor, que usualmente se encuentra entre 20 y 30 m/s. Esta corriente de aire es generada con soplantes de pistón rotativo o con ventiladores de alta presión.

Las ventajas del transporte neumático son:
- se obtienen grandes caudales másicos,
- reducido requerimiento de espacio,
- no quedan residuos en los equipos,
- los caminos de transporte pueden ser dispuestos de manera muy flexible, y
- no hay riesgo de incendio.

Frente a esto está, sin embargo, el requerimiento de energía notablemente mayor que en los transportadores mecánicos.

Existen dos tipos de transporte neumático:
- instalaciones de aspiración de aire con depresión en la tubería de transporte, e
- instalaciones de aire comprimido con sobrepresión en la tubería de transporte.

2.1.3.2.1 Instalación de aspiración de aire (Figura 2.24)

En la instalación de aspiración de aire, la cebada puede ser aspirada en muchos puntos,

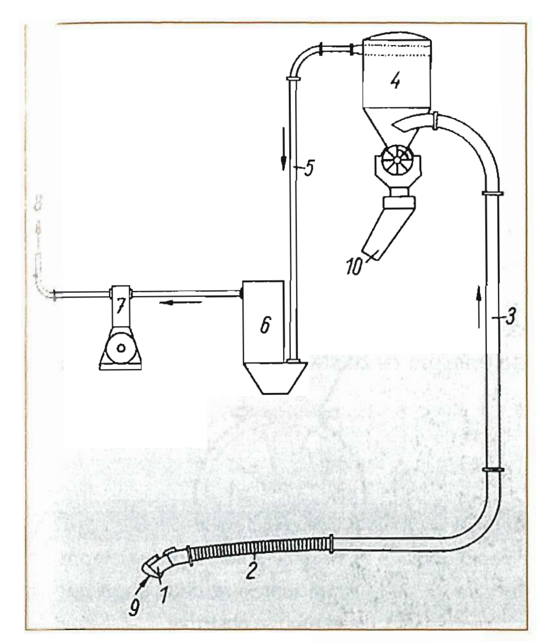


Figura 2.24
Instalación de aspiración de aire (principio de operación)
(1) tobera de succión,
(2) tubo flexible,
(3) tubería de transporte,
(4) separador,
(5) tubo de aspiración de aire,
(6) filtro de polvo,
(7) soplante,
(8) descarga de aire,
(9) alimentación de cebada,
(10) descarga de cebada

si la tubería está provista de suficientes derivaciones. Sin embargo, la descarga tiene lugar únicamente en el recipiente (Figura 2.25), que se encuentra por eso ubicado en la posición más alta. Es decir, encima del tostadero, del piso de cebada o del tanque de remojo.

2.1.3.2.2 Instalación de aire comprimido

En las instalaciones de aire comprimido (Figura 2.26), el producto es introducido en la esclusa. Atravesando una rueda celular, el producto a transportar es llevado a la tubería, en la cual se mueve una fuerte corriente de aire. A los efectos de poder introducir el producto en varios puntos, la esclusa ha sido realizada a veces de forma transportable. La descarga se realiza a través de un separador ciclónico. Pero el aire saliente aún está polvoriento. En el almacenamiento de cebada cervecera se utilizan soplantes móviles de aire comprimido con tuberías de montaje rápido.

Comparación de las propiedades de las instalaciones de aire comprimido y las de aire de aspiración

	Neumática de presión	Neumática de aspiración
Productores de flujo de aire	casi exclusivamente soplantes de pistón rotativo	mayormente ventiladores de alta presión
Entrada de producto	siempre con esclusa	tobera de aspiración
Salida de producto	con o sin esclusa	esclusa siempre necesaria
Velocidad de transporte	relativamente lenta	alta
Separador de producto	posible en todos los tipos	no es posible en celdas
Presión de operación	puede ser alta, posibilidad de caminos de transporte largos	relativamente baja

En suma, los costos de inversión y operación son mucho mayores en las instalaciones neumáticas que en los dispositivos de transporte mecánicos. Se las utiliza, sobre todo, cuando hay que transportar grandes cantidades de producto a granel con muchos cambos de dirección.

Pero justo el cambio de dirección causa un gran problema: la cebada arrastrada por la corriente de aire tiene una mayor inercia que el aire y trata de seguir su trayectoria en línea recta en cada codo (Figura 2.27). Pero esto

2

daña los granos y, con el paso del tiempo, el codo es desgastado por los millones de granos que pasan. Para prevenir esto, se construyen los codos con radios muy amplios y de paredes gruesas.

Los transportadores de empuje por pulsos representan un desarrollo ulterior. Este es un sistema de transporte en el cual el producto a granel no es transportado dentro de una corriente de aire, sino en tapones (Figura 2.28):

El producto a granel introducido en la esclusa, a través de la entrada de producto, es dividido en secciones individuales, llamadas tapones, por medio de suministro intermitente de aire comprimido. Un flujo de aire mantiene los granos en un estado levemente flojo y facilita así el movimiento hacia adelante de los tapones. De ello resulta la gran rentabilidad de esta instalación y el transporte muy cuidadoso del producto a velocidades de 3 a 15 m/s. De esta manera, el requerimiento de energía es hasta un 40% menor que en el

Notas explicativas para la figura 2.24

Parte de aparato	Tarea	Construcción	Observaciones
Tobera de succión (1) o	aspiración del aire	tubo de pared doble ajustable	Se debe poder aspirar siempre suficiente aire, dado que si no el tubo se obstruye.
Tolva de descarga	aspiración de la cebada	para la introducción de suficiente	El aire es aspirado, arrastrando la cebada.
Tubo flexible (2)	movilidad en el lugar de aspiración	tubo espiralado	
Tubería de transporte (3)	transporte subsiguiente del aire de aspiración y la cebada arrastrada	caños de diámetros de aproximadamente 15 a 20 cm y de radios amplios	En los codos cerrados, los granos rozan con las paredes interiores, desgastándolas con el tiempo. Colocando derivaciones se puede obtener un sistema muy ramificado de puntos de aspiración.
Separador [descargador] (4)	retención de la cebada	recipiente con salida cónica, en el cual se encuentra instalada y sellada una rueda celular accionada mecánicamente (Figura 2.25)	La rueda remueve únicamente el producto a transportar, pero no permite la entrada de aire. El aire de transporte polvoriento es aspirado y filtrado por medio de un cartucho filtrante.
Tubo de aspiración de aire (5)	Conexión al soplante (7)	tubos de mayor diámetro que en la alimentación	Consecuentemente menor velocidad del aire.
Filtro de polvo (6)	remoción del polvo	ver Sección 2.1.4.2	Además, se pueden encontrar a menudo filtros de agua para la limpieza del aire.
Soplante (7)	aspiración del aire	ventilador de alta presión	

El producto a granel debe ser cargado cuidadosamente en la tobera o en el embudo de aspiración para que la instalación no se obstruya.

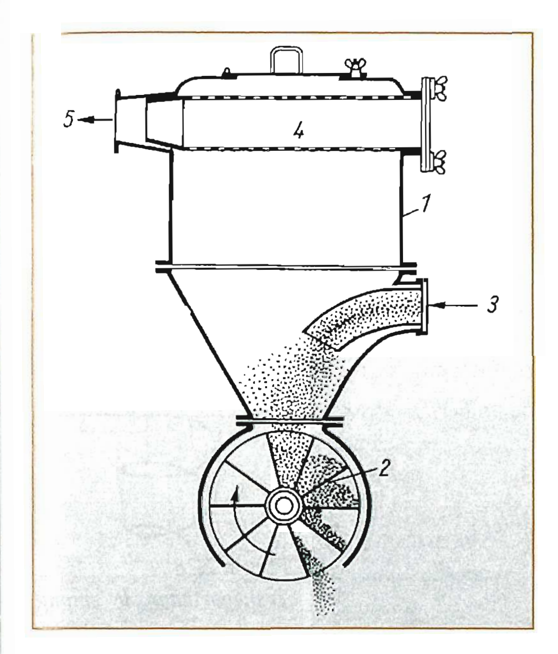
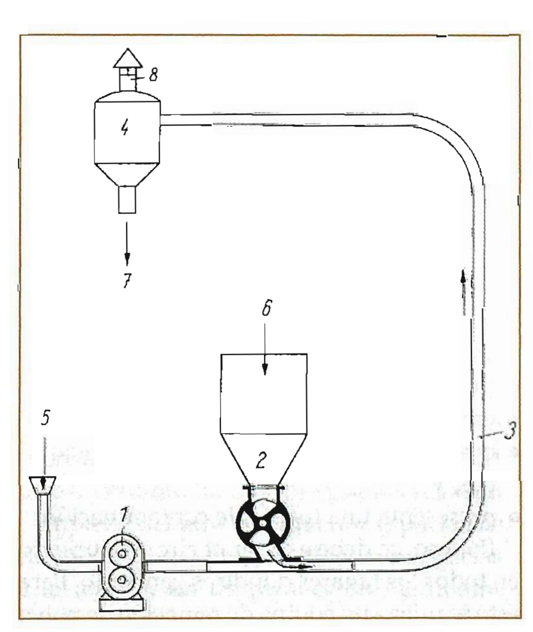


Figura 2.25
Descargador (separador, recipiente)
(1) carcasa, (2) rueda celular con accionamiento, (3) tubo de alimentación de aire, (4) cartucho filtrante, (5) salida de aire polvoriento

Figura 2.27
Flujo de granos en un codo

transporte neumático convencional. Las instalaciones de transportadores de empuje por pulsos se construyen para grandes caudales de transporte (hasta 50 t/h) y para grandes distancias.

Los transportadores neumáticos de empuje por pulsos transportan el producto a baja velocidad, pero no se pueden taponar de forma permanente, si por ejemplo la instalación queda despresurizada, debido a un corte de tensión más prolongado. En la reconexión se forma primeramente un gran tapón, el cual se divide tantas veces desde el final, hasta que el tubo de transporte queda liberado. En la fá-



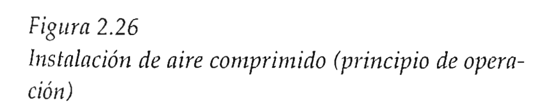


Figura 2.26
Instalación de aire comprimido (principio de operación)

(1) ventilador de presión forzada,
(2) esclusa,
(3) tubo de transporte,
(4) recipiente de salida,
(5) entrada de aire,
(6) alimentación de la cebada,
(7) descarga de la cebada,
(8) salida de aire al separador central de polvo

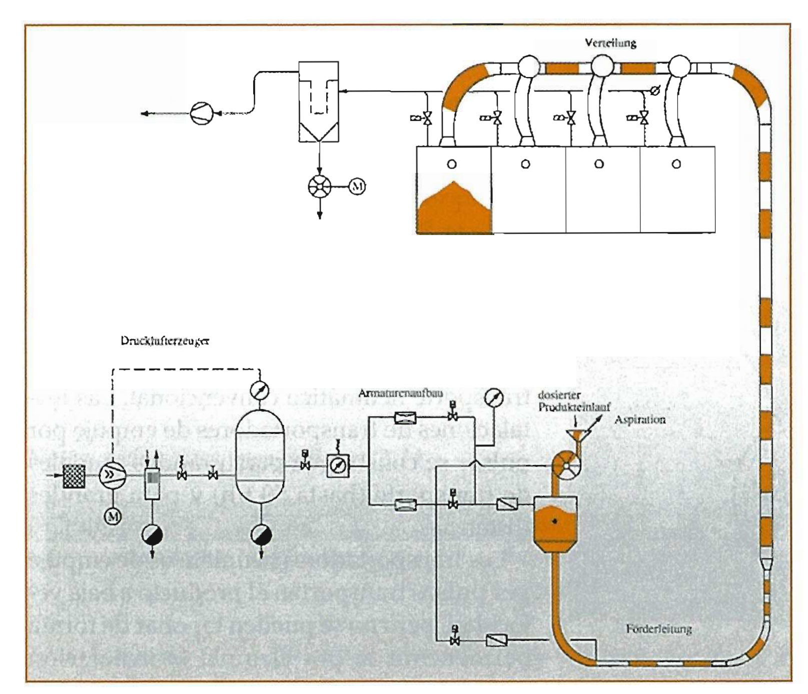


Figura 2.28
Transportador de empuje por pulsos con pulsación forzada

brica de cerveza se los utiliza, por ejemplo, para el transporte mecánico de las heces.

2.1.4 Equipos para la remoción de polvo

Sobre la superficie de los granos de cebadas y de malta siempre se adhiere polvo, que se libera con cada movimiento del producto a granel en una cantidad que no puede ser pasada por alto y cuyo olor es claramente perceptible.

El aire polvoriento debe ser aspirado en todos los lugares donde se genera y el polvo debe ser removido, debido a que

- puede causar explosiones,
- empeora las condiciones de trabajo,
- ensucia los lugares de trabajo y las máquinas, y
- representa una fuente de contaminación.

Por eso, se debe aspirar el aire polvoriento en todos los lugares donde es generado. Para esto se utiliza un equipo de remoción de polvo o de aspiración. La instalación de remoción de polvo se reconoce por los grandes conductos, dado que se debe extraer mucho aire para remover el polvo.

La corriente de aire necesaria para ello es generada con un ventilador axial o radial (ver Sección 10.5.2). El polvo puede ser separado del flujo de aire

- por separadores ciclónicos, o
- por filtros.

2.1.4.1 Separadores ciclónicos

Un separador ciclónico (Figura 2.29) consiste de una parte superior cilíndrica (1), en la cual se introduce el aire por soplado tangencial. El separador ciclónico se estrecha hacia abajo de forma cónica. En esto, las partículas de polvo son empujadas por la fuerza centrífuga hacia afuera, se deslizan hacia abajo y son descargadas a través de una esclusa de salida (4), siendo introducidas en sacos. El aire limpiado sale por arriba (6).

Con el separador ciclónico no se logra nunca separar completamente el polvo del aire. Un resto de partículas finas sale del separador ciclónico, junto con el flujo de aire. El venteo de aire con un contenido residual de polvo ya no es tolerado, sobre todo en zonas densamente pobladas, y transgrede la Ley Federal de Protección contra las Inmisiones (Alemania).

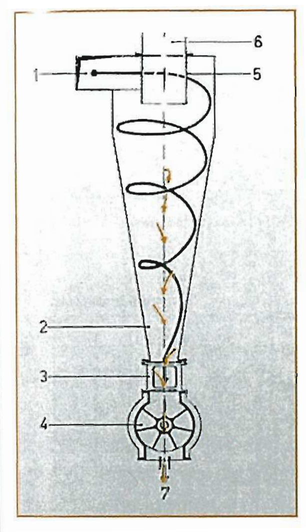


Figura 2.29
Separador ciclónico (separador de polvo y materiales)

(1) entrada de aire
(2) cono de separación
(3) mirilla
(4) esclusa de descarga
(5) tubo de inmersión
(6) salida del aire limpiado
(7) salida de las partículas de polvo

Por eso, el separador ciclónico se utiliza en las instalaciones modernas solamente como preseparador. Aunque en los separadores construidos hoy en día la separación suceda más por la fuerza centrífuga que por el descenso del polvo debido a la reducción de velocidad, no está dada una remoción satisfactoria del polvo. Una remoción realmente satisfactoria del polvo solamente se logra con filtros.

2.1.4.2 Filtro de polvo

La separación de polvo de un flujo de aire, a través de filtros, permite una separación de partículas de polvo de hasta aproximadamente 6 µm. Un aire así puede ser considerado limpio. El aire absolutamente libre de polvo no puede ser producido a gran escala, sólo es alcanzable a un costo enorme.

2.1.4.2.1 Filtros de polvo de diseño más antiguo

El tipo más antiguo de los filtros de polvo está representado por los filtros de manga a presión, los cuales se encuentran únicamente en las plantas más viejas. Entre dos cámaras están sujetas hasta 100 mangas de tela, en las cuales se sopla aire polvoriento. Un rastrillo que se mueve hacia arriba y hacia abajo barre el polvo de la parte interior, el cual cae hacia abajo, siendo evacuado. Pero en el caso de defectos, todo el ambiente está cubierto de una gruesa capa de polvo. Pero también sin defectos el polvo residual llega a todos los espacios, cubriendo gradualmente todo de forma completa.

A menudo se encuentran todavía filtros de manga aspirantes (Figura 2.30) en las malterías. Aquí, el aire polvoriento entra a las mangas por abajo, siendo aspirado desde arriba. Las mangas se encuentran suspendidas en 3 a 8 cámaras, de a 18 por cámara. El diámetro es de 13 a 20 cm y su longitud de 1,8 a 2,8 m. Para la limpieza se debe parar la unidad en cuestión. Es decir, que se interrumpe el flujo de aire. Las mangas son aflojadas y tensadas nuevamente, por medio de un mecanismo especial ubicado encima de las mismas. De esta manera, el polvo cae hacia abajo y es removido. Luego se libera nuevamente el suministro de aire, procediéndose a la limpieza de la próxima unidad. Este proceso no pasa inadvertido.

2.1.4.2.2 Filtros de polvo de diseño más nuevo

Los filtros de polvo de diseño más nuevo se construyen hoy en día como filtros tipo "jet pulse". Pero también otros diseños realizan la limpieza del aire en el menor espacio, de acuerdo con las correspondientes exigencias de la legislación de protección medioambiental.

2.1.4.2.2.1 Filtros tipo "jet pulse"

El filtro tipo "jet pulse" (Figuras 2.31 + 2.32) consiste de una parte cilíndrica y de una parte cónica. En la parte cilíndrica se encuentran mangas de fieltro sintético de hasta 3 m de longitud, colocadas sobre canastos de alambre. Debido a una introducción tangencial del aire polvoriento, una parte del polvo es removida por la fuerza centrífuga. El aire atraviesa luego las mangas, siendo con ello limpiado. Las mangas son limpiadas de manera tal que las toberas ubicadas encima de cada manga, en la parte superior del filtro, reciben una tras otra un breve, pero muy fuerte, chorro de aire. Por medio de estos golpes de presión, se desprenden las partículas de polvo

Figura 2.32
Sección de un elemento filtrante

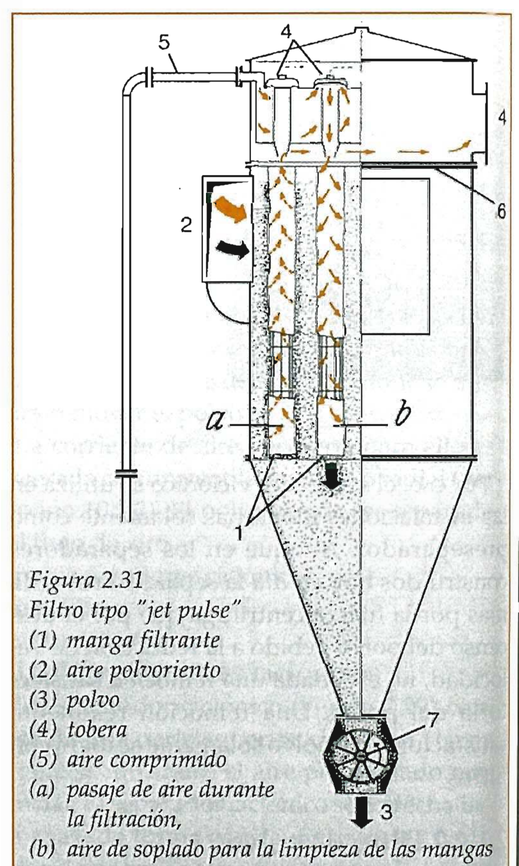


Figura 2.31
Filtro tipo "jet pulse"
(1) manga filtrante
(2) aire polvoriento
(3) polvo
(4) tobera
(5) aire comprimido
(a) pasaje de aire durante la filtración,
(b) aire de soplado para la limpieza de las mangas filtrantes
(6) fondo intermedio
(7) esclusa de rueda celular
(8) aire limpiado

Figura 2.30: Filtro de manga aspirante (diseño antiguo)

(1) cámara del filtro, (2) mangas filtrantes, (3) suspensión de las mangas, (4) artesa colectora, (5) tornillo transportador colector, (6) dispositivo de control

adheridas a la cara externa de las mangas. Caen hacia abajo, siendo removidas por una rueda celular.

El dispositivo de control responsable opera neumáticamente. Durante la limpieza de la manga, todas las demás mangas continúan operando normalmente, de manera tal que no hay interrupción. El filtro tipo "jet pulse" está diseñado para caudales de aire de hasta 800 m3/min.

Hoy en día, todos los filtros se construyen resistentes a los golpes de ariete y con abertura de expansión, a los efectos de minimizar las consecuencias de una posible explosión por polvo.



2.1.4.2.2.2 Otros filtros de aire modernos

Un problema de la filtración de aire es el requerimiento de espacio. Si se necesitaba con el filtro de manga a presión 1 a 1,5 m^3 de aire por minuto y por m^2 de área filtrante, ya eran con el filtro de manga aspirante 3 m^3 de aire por minuto y por m^2 de área filtrante.

En el filtro tipo "jet pulse" ya se pudo incrementar la carga a los 4 a 9 m^3 de aire por minuto y por m^2 de área filtrante.

Otra posibilidad es el pasaje de la forma redonda de las mangas a la forma rectangular, y con ello un mejor aprovechamiento del espacio disponible (Figura 2.33 + 2.33a)

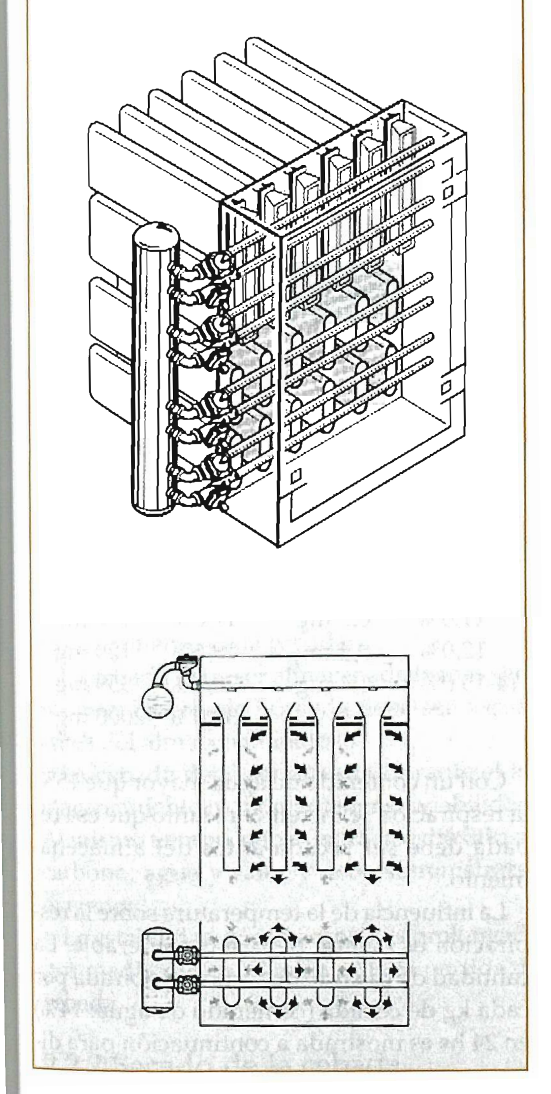


Figura 2.33
Filtro de aire

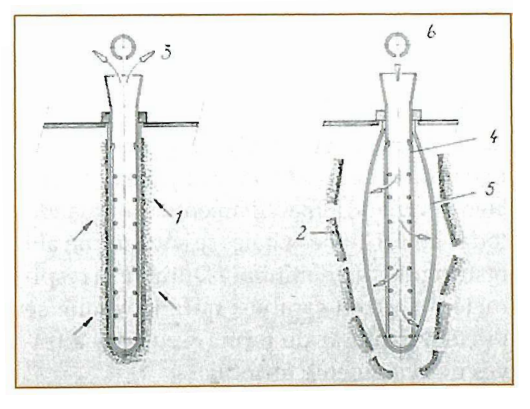


Figura 2.33a
Esquema de limpieza de una bolsa filtrante
(1) aire polvoriento, (2) torta de polvo,
(3) aire limpiado, (4) bastidor de soporte,
(5) tejido filtrante, (6) tobera para aire comprimido

2.2 Secado y almacenamiento de la cebada

La cebada no es malteada inmediatamente, sino que es almacenada hasta su procesamiento. En el tiempo posterior a la cosecha pasa todavía por un reposo vegetativo, el cual dura en Europa Central aproximadamente 6 a 8 semanas, dependiendo de las condiciones climáticas durante el período de cosecha. El reposo vegetativo está compuesto por el reposo vegetativo fundamental y por la sensibilidad al agua. Durante el reposo vegetativo fundamental al embrión no le es posible germinar. La sensibilidad al agua es posteriormente el fuerte rechazo, por parte del embrión, a una absorción de agua demasiado grande. La sensibilidad al agua sólo disminuye después de algún tiempo y la cebada alcanza recién entonces su energía completa de germinación. Bajo madurez de malteado se entiende el estado en el cual es capaz de ejecutar completamente todas sus funciones vitales.

La cebada también respira durante el almacenamiento y por ello debe ser aireada. El almacenamiento tiene lugar en silos o en graneros. La cebada húmeda no es almacenable y debe ser secada antes del almacenamiento. La cebada infestada por parásitos debe ser fumigada, a los efectos de aniquilarlos.

2.2.1. Respiración de la cebada

El embrión de la cebada vive y respira también durante el almacenamiento, aun cuando todas las funciones vitales se encuentran ahí restringidas a un mínimo. Durante la respiración ocurren cambios químicos, que se pueden expresar de forma resumida a través de la siguiente fórmula:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

$Q = 2822$ kJ $= 674$ kcal

Para la respiración se requiere oxígeno. Ante la falta de oxígeno, ocurre la respiración intramolecular. Se forman entonces venenos celulares (por ejemplo alcanales y alcanoles), pudiendo finalmente morir el embrión. Es por ello que la cebada almacenada debe ser aireada. Pero debido a la respiración, se consume sobre todo almidón -con la glucosa $C_6H_{12}O_6$, como intermediario-. El almidón es absolutamente necesario más tarde como proveedor más importante de extracto. Es por eso que la respiración conlleva una merma de almidón, que debe ser mantenida lo más reducida posible.
Cuanto menos almidón sea consumido por respiración, tanto menor será la merma durante la producción de malta y con tanta más rentabilidad trabajará la planta.

Dado que la cebada es almacenada desde la cosecha hasta el procesamiento, es importante que durante ese tiempo la pérdida por respiración sea mantenida lo más baja posible. La respiración es influida por el contenido de agua y por la temperatura de almacenamiento.

La influencia del contenido de agua sobre la respiración es muy grande: la cantidad de dióxido de carbono espirado por cada kg de cebada en 24 hs a 20°C es mostrada a continuación, para diferentes contenidos de agua:

11,0%	0,3 mg	17,0%	100 mg
12,0%	0,4 mg	19,6%	123 mg
14-15,0%	1,4 mg	20,5%	359 mg
		30,0%	2000 mg

Con un contenido de agua mayor que 15%, la respiración se incrementa tanto que esa cebada debe ser secada antes del almacenamiento.

La influencia de la temperatura sobre la respiración es menor, pero sí considerable. La cantidad de dióxido de carbono espirada por cada kg de cebada (contenido de agua: 14%) en 24 hs es mostrada a continuación para diferentes temperaturas:

15°C	1,3-1,5 mg	40°C	20 mg
30°C	7,3-8,5 mg	52°C	249 mg

Si el calor y la humedad de respiración no son extraídos de la cebada en almacenamiento, ocurre una reacción en cadena: debido a la respiración se generan calor y humedad. Estos dos factores a su vez aceleran la respiración, con lo cual la cebada se humedece y se calienta más y comienza, bajo determinadas circunstancias, a cubrirse de moho y deja de tener valor alguno.

Bajo condiciones normales de almacenamiento, con un contenido de agua de 14 a 16%, tienen lugar las siguientes mermas de almacenamiento:

Mermas de almacenamiento en % de la cantidad almacenada

	Tipo de almacenamiento	Duración del almacenamiento en meses hasta 3	de 3 a 6	mayor que 6
Cebada	a granel sobre			
	el piso	1,0	2	3
	en silos	0,5	1	2
Trigo	a granel sobre			
	el piso	0,7	1,4	2,5
	en silos	0,6	1,2	2

De esto resultan aspectos básicos para el almacenamiento de la cebada:

La cebada debe ser almacenada lo más seca posible. La cebada húmeda debe ser secada antes del almacenamiento.

La cebada debe ser aireada durante el almacenamiento, para mantener su viabilidad. Al mismo tiempo, deben extraerse dióxido de carbono, agua y calor y debe suministrarse oxígeno.

La estabilidad de almacenaje es prolongada por medio del enfriamiento de la partida de cebada.

2.2.2 Secado de la cebada

El contenido de agua en la cebada está sujeto a grandes fluctuaciones. El contenido promedio de agua es aproximadamente 13 a 15%. En años secos de cosecha el contenido de agua puede ser 11 a 12%; con cosechas húmedas crece a más del 20%. Con una cosecha tan húmeda debe examinarse si la cebada no está ya dañada por infestación con fusarios, agrietamiento de grano y germinación encubierta o visible.

La cebada almacenada en estado húmedo pierde en capacidad de germinación y produce una malta pobre. Es por eso que las cebadas con contenidos de agua mayores que 15% deben ser secadas antes del almacenamiento. Debido al secado, se abrevia el reposo vegetativo.

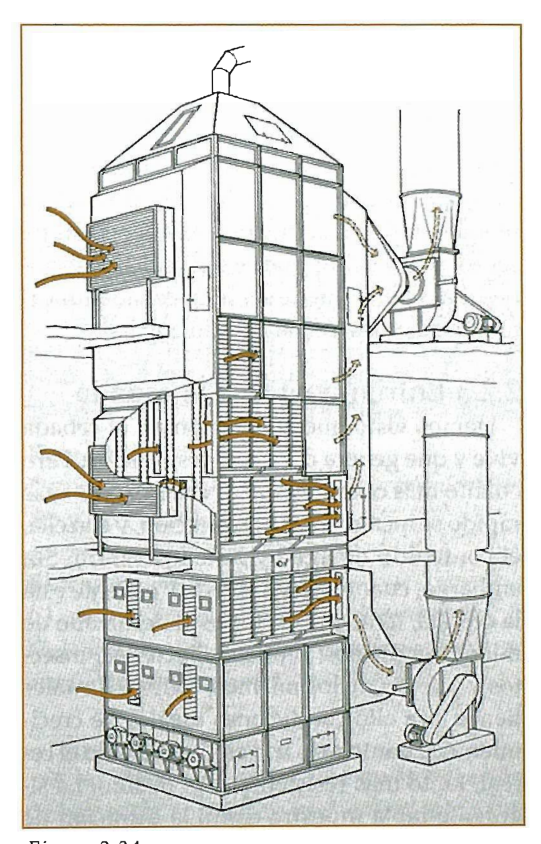


Figura 2.34
Secador de cebada

El secado se realiza con *secadores por aire* caliente o con *secadores al vacío*.

El secador de granos por aire caliente (Figura 2.34) tiene cuatro compartimientos, en los cuales la cebada a ser secada se mueve lentamente hacia abajo, mientras que es sometida horizontalmente, a través de las persianas, a una corriente de aire caliente que extrae el agua de los granos. La temperatura del aire caliente entrante depende de la humedad del grano, debido a que las cebadas húmedas son sensibles a la temperatura. Un calentamiento muy elevado puede perjudicar fuertemente la capacidad de germinación.

En la parte inferior del secador, en el elemento enfriador, la cebada es sometida a una corriente fría de aire fresco, siendo así enfriada. Dado que la mayoría de las malterías no disponen de un secador por aire caliente propio, las mismas secan, en caso de necesidad, las partidas húmedas de granos en el tostadero, al principio de la campaña. Deben mantenerse aquí las mismas temperaturas de secado para evitar que se dañen los embriones. La cebada puede ser almacenada únicamente después de haber sido enfriada.

2.2.3 Enfriamiento de la cebada

Hemos visto que el embrión de la cebada vive y que genera calor por respiración. Pero cuanto más caliente está la cebada, tanto más rápido se incrementa la respiración, y con ella, el contenido de agua y la temperatura. Sin embargo, cuanto más húmeda y caliente está la cebada, tanto más veloz es el desarrollo de microorganismos, mohos y bacterias, insectos y huevos de los mismos, todos los cuales tienen con ello condiciones ideales de crecimiento. Cuanto más frío es almacenado el cereal, tanto más resistente es el mismo. La siguiente tabla muestra cómo la duración de almacenamiento depende del contenido de agua:

Contenido de agua	Temperatura de almacenamiento	Almacenamiento sin deterioro
12,0-15,0%	9-12°C	indefinido
15,0-16,5%	8-10°C	1-1,5 años
16,6-18,0%	5-7°C	4-6 meses
18,0-20,0%	5°C	3-4 meses
20,0-22,0%	5°C	2-3 meses
22,0-25,0%	5°C	1-2 semanas
25,0-30,0%	4-5°C	2-3 días
mayor que 30%	-	-

Por eso, se puede prolongar la duración del almacenamiento de la cebada cosechada en estado húmedo por medio de enfriamiento. Si aun así es necesario un secado, éste puede ser pospuesto por medio del enfriamiento de la partida de cebada.

Como ejemplo para el enfriamiento de la cebada, se detalla el equipo enfriador de cereales Granifrigor de la empresa Sulzer Escher-Wyss (Figura 2.35).

El aire frío que sale del equipo de enfriamiento ingresa por abajo (3) al silo que está conectado a este último y enfría al principio la capa más inferior de cereales. Con esto, el aire se calienta a la temperatura del cereal y fluye, a través de todo el silo, hacia arriba. Consecuentemente, el aire sale por arriba como aire de escape, durante todo el tiempo de enfriamiento.

Con el avance del enfriamiento, se genera una zona de enfriamiento, la cual se mueve gradualmente hacia arriba durante el período de enfriamiento. El proceso de enfriamiento está terminado cuando finalmente emerge por arriba aire más frío. Como temperatura de almacenamiento, se elige una temperatura por debajo de 15°C; esto también es de especial importancia para la protección contra insectos y mohos.

2.2.4 Almacenamiento de la cebada

El almacenamiento de la cebada se realiza, por lo general, en silos o graneros. Pero tam-

bién puede ser en instalaciones más antiguas en cajones sobre el piso.

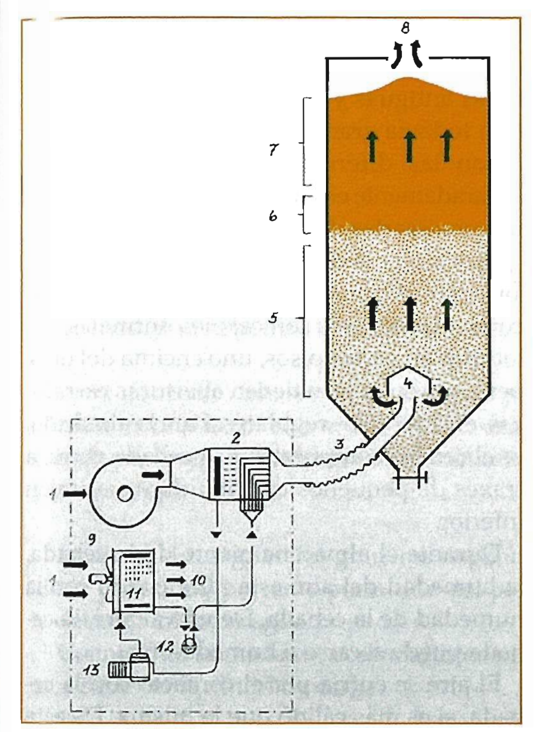


Figura 2.35: Equipo enfriador de cereales
(1) aire fresco, (2) enfriador de aire con regulador para humedad y temperatura (Hygrotherm), (3) entrada de aire frío, (4) distribución de aire, (5) zona de granos enfriados, (6) zona de enfriamiento (se mueve en sentido del flujo de aire), (7) zona de granos sin enfriar, (8) aire caliente, (9) ventilador, (10) aire de salida, (11) condensador, enfriado por aire, (12) colector de refrigerante, (13) compresor frigorífico

2.2.4.1 Almacenamiento en silos

La mayoría de los silos son de hormigón armado. Tienen una baja conductividad, son a prueba de incendios y tienen bajos costos de mantenimiento. Se los construye redondos, rectangulares o encajados en forma de panal, para ahorrar espacio. Se calcula con 700 kg de cebada/m³ de contenido de silo; con la malta son 550 kg/m³. A los efectos de garantizar un vaciado total, es necesario un ángulo de descarga de 40°. Aun así, debe tenerse en cuenta que los silos no se vacían de manera uniforme, sino que puede haber durante el vaciado -en dependencia de diferentes factores- desintegraciones de la mezcla, debido al efecto de formación de chimenea (Figura 2.36).

Los silos de chapa de acero son más baratos y fáciles de erigir. Pero son muy buenos conductores de calor. Ello causa que las partes marginales se calienten o se enfríen más fácilmente y que la cebada pueda comenzar a transpirar fácilmente, debido a un incremento de la respiración. Esto resulta en la formación de agua de condensación.

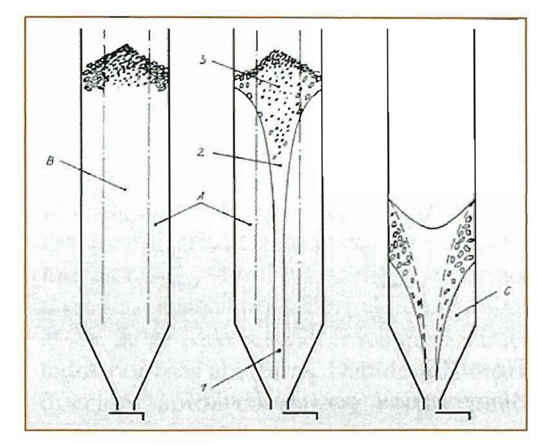


Figura 2.36
Desintegración de mezcla en el almacenamiento en silo y en el vaciado
A) zona con productos livianos,
B) zona con productos pesados,
C) zona con productos livianos, congestionados,
(1-3) descarga de producto (secuencia, luego de apertura de la compuerta)

A los efectos de evitar una desintegración de la mezcla, se utilizan frecuentemente, para el llenado y para el vaciado, tubos de silo (Sifero, Bühler) colocados con elementos de

fijación a la pared o al techo (Figura 2.36 a) y que están formados por tramos de tubos conectados entre sí. De esta manera, la celda del silo es llenada de abajo hacia arriba; pero se vacía en sentido contrario, de arriba hacia abajo (first in - last out).

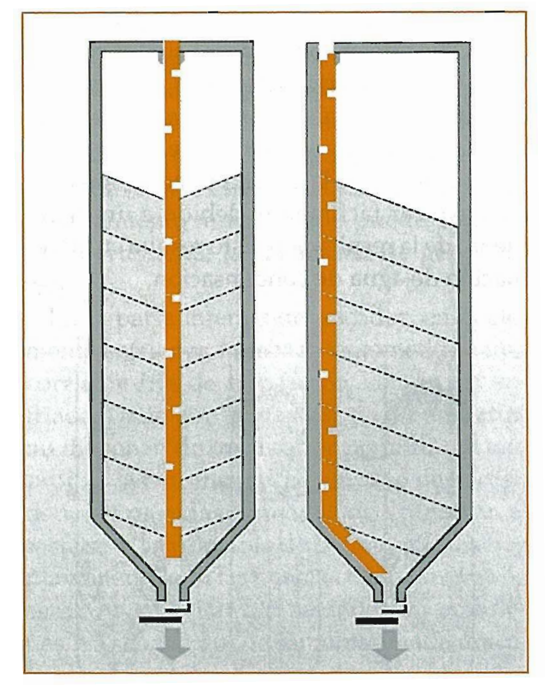


Figura 2.36a
Almacenamiento por tubo de silo

En todas las instalaciones de silos es necesario airear la cebada y removerla regularmente. Debe prestarse atención en la aireación al estado del aire (temperatura, contenido de agua). Por eso, se necesitan indicadores de temperatura a diferentes alturas de silo, para su monitoreo.

La instalación completa de silos en una maltería debe estar diseñada para poder recibir del 80 al 100% de la capacidad de procesamiento de una campaña, a los efectos de posibilitar el empalme con la nueva cosecha.

2.2.4.2 Almacenamiento en graneros

Aunque muchas malterías tienen silos y el almacenamiento en graneros requiere mucho trabajo y espacio, hoy en día todavía es usual el almacenamiento en graneros. Pero en malterías antiguas y muy pequeñas se encuentran todavía graneros en los cuales se almacenan las diferentes partidas de cebada separadamente en cajones, a los efectos de poder procesarlas de forma separada.

Para airear la cebada, se la aspira de un cajón a otro. Algunas malterías tienen cajones de corrimiento. Éstos son cajones normales, colocados en varios pisos, uno encima del otro, pero que en el piso tienen aberturas cerradizas, en intervalos regulares. Para la aireación, se abren las compuertas y la cebada corre, a través de pequeños distribuidores, al cajón inferior.

Durante el almacenamiento de la cebada, la humedad del aire está relacionada con la humedad de la cebada. Debido al aire, la cebada puede secarse o humedecerse.

El aire se enfría por el contacto con la cebada, si es más cálido que la misma. De esta manera disminuye su capacidad de absorción de humedad, transfiriéndole esta última a la cebada. Con ello, la cebada se humedece. Por el contrario, el aire frío absorbe la humedad de la cebada a mayor temperatura. Es por eso que las ventanas de los graneros deben estar siempre abiertas cuando el aire exterior es frío.

▸ *El aire nocturno, frío y seco tiene siempre un efecto secante.*

Sin embargo en primavera, cuando la cebada está fría, la temperatura exterior aumenta, con el consiguiente riesgo de aumento de humedad. Por ello, el maltero debe estar en condición de verificar cada situación climática respecto de sus efectos de aireación. Es importante saber, para esto, que el contenido de humedad de la cebada se encuentra en equilibrio con la humedad relativa del aire.

Cebada con un contenido de humedad en %	se encuentra en equilibrio con una humedad relativa del aire en %
13,5	60
14,0	65
15,0	70
16,0	75
17,0	80
19,0	85
21,0	90

La medición se realiza con higrómetros.

El aire de secado debe ser más frío que la cebada almacenada. Si el aire de secado es más cálido que la cebada, su contenido de humedad debe ser bajo.

La altura de carga en los graneros depende de la capacidad portante permitida del piso y del contenido de agua.

Cuanto más húmeda es la cebada, tanto menor debe ser la altura de carga.

Contenido de agua de la cebada en %	Altura máxima de carga en m
hasta15,6	3
15,5 a 17,0	2,25
mayor que 17,0	1

En el caso de cebada recién cosechada por trilla, debe mantenerse una altura de carga notablemente menor, dado que la posmaduración y el proceso de transpiración incrementan fácilmente la temperatura, causando consecuentemente una merma de calidad.

Frente a la ventaja del fácil control de la partida almacenada en granero, se tienen las siguientes desventajas: gran gasto de energía y de tiempo de trabajo, debido al movimiento necesario del producto, y un aprovechamiento muy pobre del espacio. Por eso, las nuevas plantas son equipadas, por lo general, con silos.

2.2.4.3 Infestación con parásitos

Aparte del daño debido a alto contenido de agua y temperatura elevada, la cebada está también expuesta a parásitos animales y vegetales.

2.2.4.3.1 Parásitos animales

De los parásitos animales, son particularmente muy peligrosos para la cebada el *gorgojo de los cereales* y la *falsa polilla de los granos.*

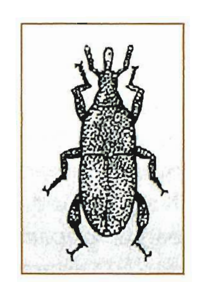


Figura 2.37
Gorgojo de los cereales
(Calandra canarium)

El gorgojo de los cereales (Figura 2.37) mide 3 a 4 mm de longitud y se reproduce muy rápidamente. La hembra del gorgojo de los cereales pone numerosos huevos de forma individual en los granos perforados previamente. Las larvas comen el interior de los granos, abandonándolos posteriormente como gorgojos. Se pueden reconocer los granos infestados por esas aberturas. Debido a la reproducción rápida de estos gorgojos, puede ocurrir un gran deterioro de la cebada en muy poco tiempo. Si no se reconoce a tiempo el daño, toda la partida de cebada puede ser destruida.

La actividad de los gorgojos de los cereales se incrementa con el aumento de temperatura; por debajo de 12 a 15°C la actividad es reducida. Es por esto que la mejor manera de protegerse de una posible infestación es enfriando y manteniendo en frío el contenido del silo (ver Sección 2.2.3)

En caso extremo, se somete toda la partida de cebada a un agente de fumigación adecuado, que aniquile los gorgojos y sus larvas, pero que desaparezca sin dejar residuos (por

ejemplo fosfina, fostoxina, Actellic 50, etc.). El proceso debe ser vigilado.

A veces suceden también daños debidos a infestación por parte de la falsa polilla de los granos, la cual hila los granos parcialmente comidos con sus propios excrementos desmenuzados, formando productos aglomerados.

2.2.4.3.2 Parásitos vegetales

Sobre la superficie del grano de cebada se depositan mohos, como también sucede con otros productos naturales.

La mayoría de estos hongos son inocuos; se desarrollan únicamente sobre las partes moribundas de las plantas, cumpliendo con ello una función importante en el ciclo de la naturaleza. No pueden dañar material viviente. Sin embargo, su aparición es indeseable cuando se esparcen vastamente sobre el cereal cosechado, como consecuencia de un almacenamiento húmedo. Pueden formar así venenos celulares, que pueden ser muy desagradables [67].

Sin embargo, otros hongos, los así llamados flora de campo, tienen la capacidad de aprovechar como nutriente el interior de las células de las plantas anfitrionas. Estos mohos causan frecuentemente grandes pérdidas económicas en la agricultura, siendo en esto influidas negativamente tanto la calidad como la cantidad de los productos agrícolas.

Los mohos excretan productos metabólicos que sirven, en primera línea, para desarrollar nuevo espacio vital para el hongo y para protegerlo. Estos productos metabólicos se llaman micotoxinas (substancias venenosas de los hongos), porque tienen efectos tóxicos sobre otros seres vivientes.

Los mohos de campo que crecen en la cebada

- *Fusarium graminearum* y
- *Fusarium culmorum*

desarrollan, con su micelio fúngico, que crece en el interior del grano, también tales micotoxinas (zearalenona (ZEA), desoxinivalenol (DON), ocratoxina A), las cuales pueden colorear de rojo el interior del grano. Por lo general, el efecto tóxico de estas micotoxinas en regiones climáticamente moderadas es bajo, debido a las pocas cantidades producidas. Sin embargo, el fusarium se hizo conocido entre los malteros, sobre todo debido a que se puede esperar con su aparición (color rojo del contenido de grano) también la ocurrencia del efecto notoriamente negativo de "gushing", si además se cumplen otras condiciones.

Bajo gushing se entiende la salida en chorro de la cerveza y el desbordamiento brusco de la espuma, al abrir la botella. Este efecto poco atractivo ocurre con mayor frecuencia en determinados años y daña la reputación de la fábrica de cerveza. El efecto gushing, de ocurrencia temporal, también puede ser causado por otros puntos de condensación para el CO_2, así como también por partículas finas de kieselgur.

Sin embargo, aparte de las condiciones en el campo y en el almacenamiento, son importantes las condiciones durante el malteado, para la infestación de la cebada y de la malta con mohos. Mientras que las esporas fúngicas son lavadas de la superficie exterior del grano, durante el remojo, los mohos crecen y se propagan, al germinar la cebada, en el interior del grano y son aniquilados mayormente recién en el tostado. Esto concierne sobre todo también a los hongos de la especie fusarium. Dado que para ese entonces ya es demasiado tarde para todo, se debe prestar por ello especial atención a las contaminaciones por mohos durante la maduración, la cosecha y el almacenamiento.

La formación de micotoxinas por infestación con mohos puede ser también peligrosa para el ser humano, en especial cuando se forma la micotoxina aflatoxina (por ejemplo, en el interior de los granos de maíz o arroz) bajo condiciones tropicales o subtropicales. Por ello, es necesario examinar el cereal respecto de una posible infestación por mohos y respecto de micotoxinas ya formadas.

.3 Remojo de la cebada

En la cebada almacenada, las enzimas importantes para el proceso de malteado tienen una actividad extremadamente reducida o están aún inactivas. En el remojo, se le suministra agua al interior del grano. De esta manera, las enzimas presentes son activadas e inician el gran proceso vital de la germinación. Éste es un proceso que no está restringido a la maltería: todos los granos de cereales y leguminosas, tubérculos o semillas comienzan a germinar tan pronto como se los humedece.

Junto con todos los demás procesos vitales, se incrementa la respiración de la cebada y, con ello, el requerimiento de oxígeno. Dado que el remojo y la germinación son dos procesos superpuestos parcialmente, deben ser también considerados de manera conjunta.

A los efectos de iniciar la germinación tan pronto como sea posible, se le debe suministrar a la cebada suficiente agua y oxígeno durante el remojo.

El remojo es realizado en cubas de remojo.

2.3.1 Procesos durante el remojo

Durante el remojo, la cebada debe absorber agua, se le debe suministrar oxígeno y debe ser limpiada. Al mismo tiempo debe ser abastecido el oxígeno necesario para la respiración y deben ser evacuados el CO_2 que se forma, así como el calor de respiración.

2.3.1.1 Absorción de agua

El agua penetra en el grano sobre todo en la zona del embrión del mismo, y más tarde también por las cubiertas laterales. La absorción de agua depende de la duración del remojo, de la temperatura de remojo, del tamaño de grano, de la variedad de cebada y del año de cosecha de la cebada.

Duración del remojo: la absorción de agua ocurre rápidamente al principio y disminuye cada vez más, con el tiempo. A 10°C resulta la siguiente curva de remojo (Figura 2.38):

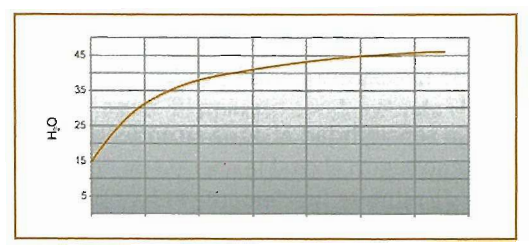


Figura 2.38
Curva de remojo

Temperatura de remojo: cuanto más caliente está el agua, tanto más rápida es absorbida la misma. Para alcanzar un contenido de agua de 42% se requieren, por ejemplo:

a 5°C	100 h
a 10°C	75 h
a 15°C	50 h

Tamaño de granos: los granos pequeños absorben el agua mucho más rápidamente que los granos grandes. Así, con una duración de remojo de 88 horas, se alcanza con granos de cebada

de tamaño de grano en mm	un contenido de agua de en %
2,9	43,7
2,8	43,3
2,7	43,6
2,6	43,7
2,5	43,7
2,4	44,7
2,3	45,6
2,2	48,9
2,1	47,8
2,0	49,0

A los efectos de evitar un crecimiento no uniforme, y con ello una menor calidad, la cebada entregada es clasificada en 1ª y 2ª variedad, así como en borra.

Variedad de cebada y año de cosecha: también la variedad de cebada y el año de cosecha tienen una influencia no despreciable sobre la absorción de agua en el grano de cebada.

Las cebadas de regiones secas del interior se hinchan y germinan más rápido que las cebadas de regiones marítimas.

En la absorción de agua debe tenerse en cuenta que algunas cebadas son sensibles al agua.

Bajo sensibilidad al agua se entiende el fenómeno según el cual la energía de germinación disminuye fuertemente si hay disponible más agua que la necesaria para la germinación. Depende de las propiedades de la cubierta externa del grano y desaparece con la aparición de las raicillas (o con el desprendimiento de la cáscara de la cebada). Por eso, es más ventajoso esperar el inicio de la germinación con un contenido de agua de 37 a 40%, antes de aumentar el contenido de humedad al valor previsto.

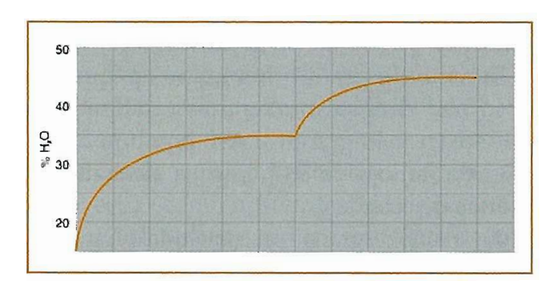


Figura 2.38a
Observación de la sensibilidad al agua de la cebada

Pero la absorción de agua no depende solamente de diferentes propiedades físicas de la cebada, tales como el contenido de agua, la masa de mil granos o el contenido de proteínas, sino que es influida, aparte de ello, por una serie de propiedades fisiológicas. Con un aumento progresivo de la duración del proceso de remojo, estas propiedades fisiológicas influyen sobre el comportamiento de absorción de agua de la cebada.

El agua ingresa al grano de cebada de forma particularmente rápida en la región embrional del mismo. Es decir, por la base del grano, pasando desde allí al interior del mismo (endospermo). Por ello, el embrión alcanza rápidamente un alto contenido de agua. Pero en el curso ulterior del remojo, sobre todo en la segunda y tercera fases, se distinguen las diferencias en la distribución del agua debidas a variedad y medio ambiente [98]. Se ve con esto que una elevada absorción de agua no es equivalente a un humedecimiento rápido y homogéneo del endospermo, dado que la distribución del agua absorbida varía considerablemente.

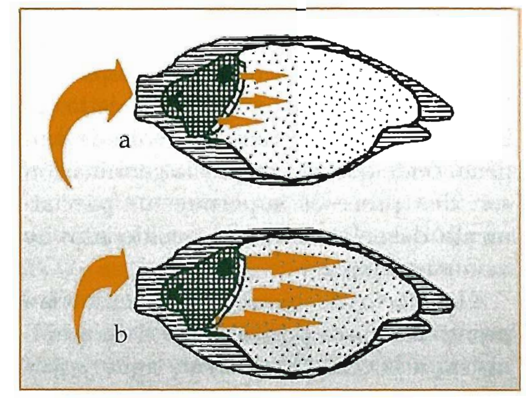


Figura 2.38 a y b
Variación de la absorción de agua en las variedades de cebada
a) cebadas con elevada vitalidad,
b) cebadas con reducida vitalidad

Deben diferenciarse básicamente en las cebadas, en lo que respecta a la absorción de agua, dos tipos básicos:

a) Variedades de cebada con fuerte crecimiento de raíz y germinación intensa. Estas cebadas muestran una elevada absorción de agua, pero una distribución retardada de esta última, de manera que el aumento del contenido de agua en el endospermo es logrado solamente de forma lenta (Figura 2.38 a)

b) Variedades de cebada con reducida intensidad de germinación y crecimiento débil de raíz. Estas cebadas muestran una reducida absorción de agua, pero hacen pasar el agua muy rápidamente al endospermo (Figura 2.38 b), creciendo

... más rápidamente el contenido de agua.

El comportamiento diferente en el proceso de remojo requiere también tratamientos diferenciados de las cebadas durante el remojo, a los efectos de lograr una absorción y una distribución óptimas del agua:

a) cebadas vitales, de germinación intensa:
- *absorción intensiva de agua, a través de remojo por inmersión, y*
- *rociado con agua durante el proceso de germinación*

b) cebadas menos vitales:
- *es muy importante el suministro suficiente de oxígeno durante el remojo*
- *utilizar procesos de remojo con descansos al aire más prolongados.*

El contenido de agua de la cebada remojada se llama grado de remojo. Se lo expresa en porcentajes. Por lo general, en las cebadas se calcula

para malta pálida (tipo Pilsner)
con un grado de remojo de 42 a 44%,
para malta oscura
con un grado de remojo de 44 a 47%.

Si durante el remojo se incrementa el grado de remojo en varias etapas, se puede aumentar el contenido de agua hasta el 48 % también para la producción de maltas pálidas; en determinadas variedades de cebada, el aumento a ese grado de remojo hasta es necesario. De esta manera se reduce la duración de germinación, disminuyendo notablemente las mermas de malteado.

El grado de remojo es de particular importancia para la realización de la germinación, dado que por ello son influidos predominantemente la formación de enzimas, el crecimiento y los procesos metabólicos.

La determinación del grado de remojo puede ser realizada:

- con el aparato de Bernreuther,
- por medio de la masa de mil granos,
- a través de la determinación directa del contenido de agua,
- de forma empírica.

El aparato de Bernreuther es un pequeño cilindro metálico perforado con un mango largo. En el aparato se pesan 100 g de cebada, después de haber predeterminado el contenido de agua. El aparato con la cebada es introducido con la cebada en el tanque de remojo, siendo sometido a los mismos procesos a los cuales está sujeta la cebada remojada. Al final del remojo se extrae la cebada del aparato de Bernreuther, se la seca superficialmente con un trapo y se la pesa. El grado de remojo puede ser calculado a partir del incremento de masa.

Ejemplo:
Se pesaron 100 g de cebada con un contenido de agua de 16,0%. Luego del remojo, la cebada pesaba 150 g. ¿Cuánto es el grado de remojo?

100 g de cebada contenían 16 g de agua
150 g de cebada remojada contienen
16 g + 50 g = 66 g de agua
100 g : 150 g = x : 66 g

$$X = \frac{100\ g \cdot 66\ g}{150\ g} = 44\ g$$

100 g de cebada remojada contienen entonces 44 g de agua

Grado de remojo =

$$\frac{44\ g \cdot 100\%}{100\ g} = \frac{44 \cdot 100\%}{100} = 44\%$$

Determinación directa del contenido de agua en el laboratorio: el producto remojado es secado exteriormente y pesado de manera exacta. Esta cantidad es presecada. Una parte de la misma es triturada y post-secada en un gabinete de secado, calculándose la pérdida resultante de agua para la cantidad total.

Determinación empírica del grado de remojo: A los efectos de tener una impresión aproximada sobre si se alcanzó el remojo total, el grano es comprimido entre pulgar y

2

dedo índice, por sus extremos. Un grano bien remojado debería partirse sin pinchar. Debería producirse también un ruido leve.

Debido a la absorción de agua, la cebada se hincha en un 40 a 45% de su volumen original. Esto debe ser tenido en cuenta al llenar el tanque de remojo. Por eso se necesitan 2,3 hl de espacio de remojo por cada dt de cebada.

2.3.1.2. Abastecimiento de oxígeno

Con la elevada absorción de agua comienza intensivamente la respiración. Con esto aumenta de forma inmediata el requerimiento de oxígeno por parte de la cebada. Si la cebada no es aireada, comienza una respiración intramolecular, la cual puede causar la muerte del embrión (remojo mortal), en caso extremo.

Un abastecimiento abundante de oxígeno a la cebada en remojo es la condición básica para un rápido inicio y un desarrollo sin problemas de la germinación.

El agua de remojo contiene oxígeno diluido, que sin embargo es consumido pronto. Durante mucho tiempo se trató de incrementar el contenido de oxígeno en el agua de remojo, introduciendo de forma frecuente aire por bombeo. Pero este proceso no tuvo el éxito esperado.

Hoy en día el remojo en agua es reducido a un mínimo y la cebada es mantenida en contacto con el aire el mayor tiempo posible. Dado que el dióxido de carbono que se forma desciende al fondo, debe ser aspirado. Por rociado y pulverizado de la cebada se incrementa el efecto de aireación, sin que sea interrumpida la absorción de agua.

2.3.1.3 Limpieza

Aunque el polvo haya sido removido previamente de la cebada, ésta tiene todavía adheridas cantidades de partículas de suciedad. En el remojo tiene lugar una limpieza por el choque con placas inhibidoras de remolinos, el bombeo y otros procesos mecánicos, y por la eliminación de diferentes compuestos químicos a través del agua de remojo.

En la primera agua de remojo se puede ver y oler que todavía entran en solución cantidades de suciedad de la superficie de la cebada, aparte de taninos y substancias amargas, ácido silícico y substancias albuminoideas de la cáscara. Esto es importante, porque estas substancias deterioran el sabor de la cerveza y favorecerían turbideces.

En el caso de una gran infestación con fusarium, puede llegar a ser necesario el uso de agentes desinfectantes, siempre que no deba rechazarse toda la partida.

2.3.2 Tanques de remojo

El remojo se realiza desde hace décadas en los tanques de remojo cónicos, que son tanques cilíndrico-cónicos de chapa de acero, utilizándose hoy en día generalmente acero inoxidable. Se eligió esta forma para que el vaciado del remojo a la caja sea realizado de forma completa y sin problemas. El tanque de remojo inferior es construido hoy en día como tanque de remojo de fondo plano.

Por lo general, los tanques de remojo están ubicados encima de los lugares de germinación, en una sección propia, la sala de remojo.

En las salas de remojo antiguas se ve todavía la forma convencional del remojo (Figura 2.39); ahí siempre hay dos tanques de remojo cónicos ubicados uno debajo del otro, pasando la cebada secuencialmente a través de los mismos, durante el remojo.

Estos tanques de remojo probaron ser buenos en esta forma, pero para las porciones de granos que se encuentran en la parte inferior del embudo se producen problemas en el desarrollo del remojo: con la absorción de agua se intensifican progresivamente los procesos vitales y, con ello, la respiración. Esto significa para los granos en la parte inferior del embudo que, después de descargar el agua del embudo, continúa llegando hacia

abajo agua de las porciones superiores de granos, mientras que estas últimas ya son bien aireadas. Con el inicio de la respiración, el CO_2 formado desciende a la parte inferior del embudo e inhibe la respiración de las porciones de granos ubicadas allí. Se obtendría, como resultado, una malta desarrollada irregularmente, si no se hiciera algo para impedir esto.

Al respecto, Wild desarrolló hace años por primera vez un tanque de remojo con un tubo central, en el cual la cebada es recirculada el primer día de remojo dentro del tanque de remojo mismo (prerremojo según Wild) (Figura 2.40). De esta manera se evita una desventaja para con los granos en el embudo, alcanzándose un abastecimiento de agua y una aireación uniformes para todos los granos dentro del tanque de remojo. Este tipo de remojo es aún hoy actual, pero la recirculación es realizada más cuidadosamente por aire comprimido, en vez del movimiento me-

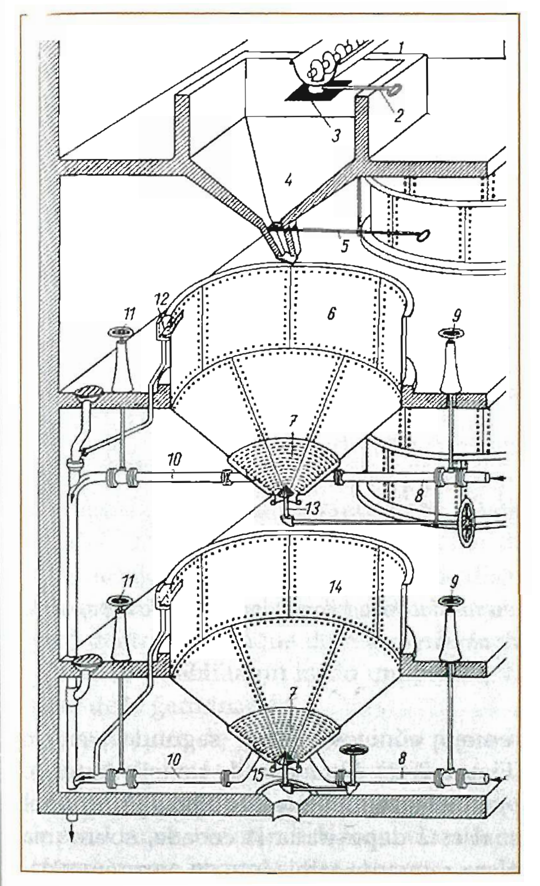


Figura 2.39
Sala de remojo con tanques de remojo ubicados uno encima del otro (construcción antigua)
(1) tornillo sinfín distribuidor, (2) válvula corredera, (3), tamices de alambre (4), silo de remojo (silo de amortiguación), (5) válvula corredera para remojo, (6) tanque de prerremojo, (7) fuente de remojo con manto perforado, (8) alimentación de agua fresca, (9) válvula de agua fresca, (10) salida de agua residual, (11) válvula de agua residual, (12) rebosadero con tamiz para cebadas flotantes, (13) válvula de descarga al remojo principal, (14) tanque de remojo principal , (15) válvula de escurrido

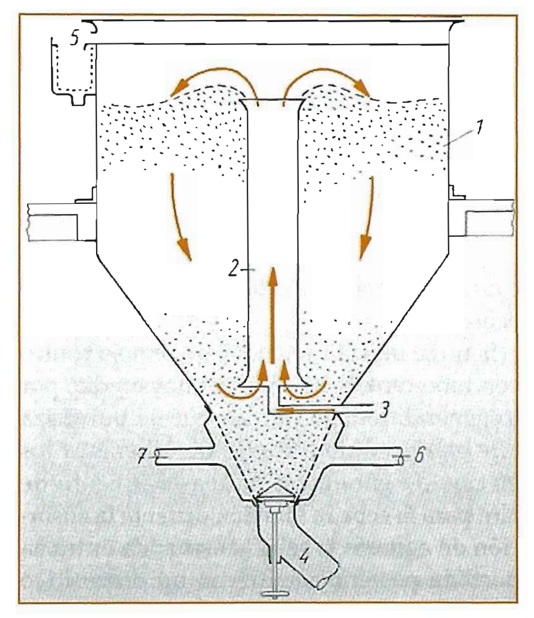


Figura 2.40
Tanque de remojo con tubo central
(1) tanque de remojo, (2) tubo central de recirculación, (3) entrada de aire comprimido, (4) salida de producto remojado, (5) rebosadero de cebadas flotantes, (6) alimentación de agua fresca, (7) descarga de agua residual

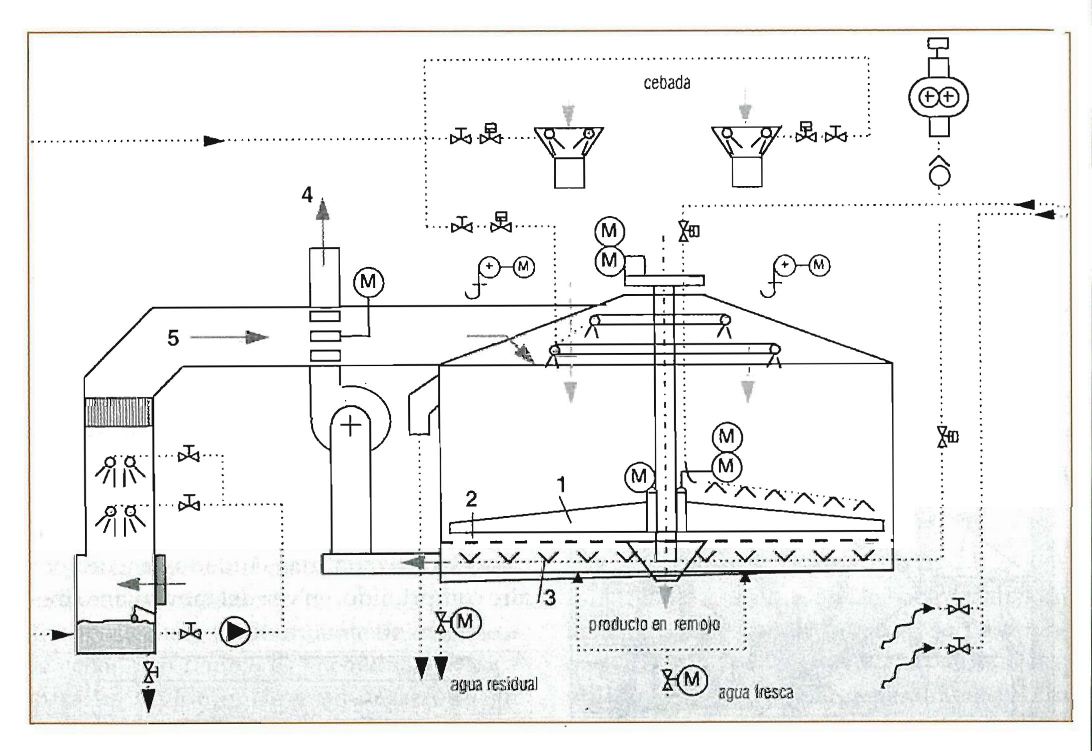


Figura 2.41: Tanque de remojo de fondo plano
(1) dispositivo radial de rastrillo, (2) fondo plano, (3) dispositivo lanzachorros en el espacio debajo de la placa tamizante, (4) aspiración de CO_2, (5) suministro de aire fresco

cánico original de la cebada a través del tubo central.

Si no se utiliza un tanque de remojo cónico con tubo central, se emplean hoy en día, por lo general, remojos en los que se pulveriza aire comprimido a través de toberas, a los efectos de garantizar el abastecimiento de aire para la cebada también durante la absorción de agua. Si la cebada escurrida es transportada posteriormente con un dispositivo de transporte mecánico (escurrido seco), el cono de salida debe ser más puntiagudo (aproximadamente 60°) que con un transporte hidráulico posterior (escurrido húmedo). En tiempos recientes se desarrolló otro tipo de tanque de remojo, el tanque de remojo de fondo plano, el cual puede ser utilizado solo o en combinación con tanques de remojo cónicos, como segundo remojo (Figura 2.41). El tanque de remojo de fondo plano es un recipiente con fondo plano, en el cual está depositada la cebada, sobre una placa ranurada tamizante de acero inoxidable con 24 a 32% de área libre.

El esparcimiento de la cebada y la evacuación del producto se realizan con un dispositivo multibrazo radial de rastrillo, que puede ser levantado o bajado, según sea necesario. Sujetadas a éste, se encuentran "paletas" que nivelan el producto, también según sea necesario, y lo transportan hacia el medio o hacia el borde (Figura 2.42). El sentido de transporte es determinado por el sentido de rotación de los brazos.

Para la aireación del producto remojado, hay distribuidas toberas de aire comprimido

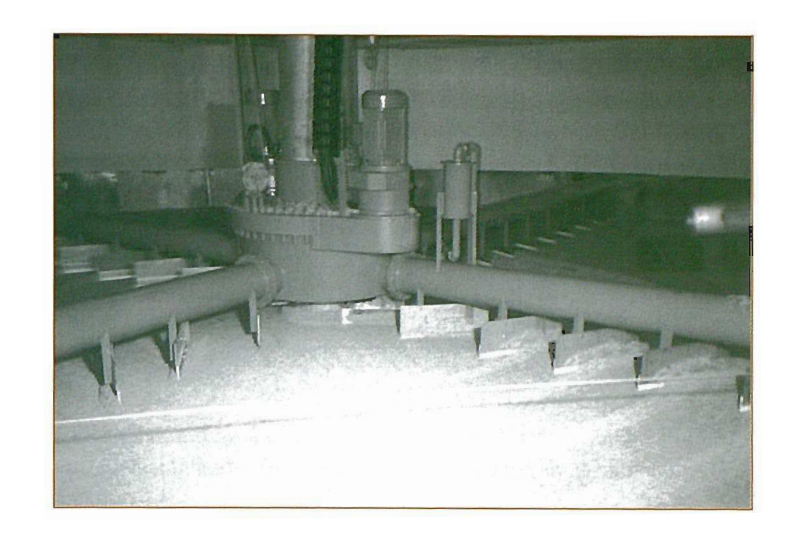


Figura 2.42
Dispositivo radial de rastrillo ("Giracleur")
(Foto: Empresa Seeger, Plüderhausen)

debajo de la placa tamizante. Para la limpieza del espacio debajo de la placa tamizante, hay colocadas boquillas lanzachorros de limpieza. Al mismo tiempo, existe la posibilidad de evacuación por aspiración del CO_2 debajo de la bandeja. Debido a la distribución uniforme y plana del producto remojado dentro del tanque de remojo de fondo plano, se posibilita un inicio uniforme y rápido de la germinación.

Los tanques de remojo de fondo plano requieren algo más de agua que los tanques de remojo cónicos, dado que el espacio debajo de la placa tamizante no puede ser mantenido arbitrariamente pequeño. Para ahorrar aun así agua, algunas malterías utilizan un dispositivo para mantener bajo el nivel de agua que se encuentra encima de la cebada.

Pero en el tanque de remojo de fondo plano ya no quedan porciones de granos que puedan ser perjudicadas, como sucede con las que se encuentran en el cono del tanque de remojo cónico.

Otra posibilidad para el remojo son los tornillos sinfín de remojo, los cuales pueden ser utilizados para la limpieza, el prerremojo, así como también para el posremojo (Figura 2.43). La cebada es introducida en una artesa llena de agua y transportada lentamente fuera del agua hacia arriba, por un tornillo sinfín en posición inclinada. En este proceso absorbe naturalmente agua, quedando atrás el exceso de agua. La cebada flotante es removida a través de un dispositivo intercalado.

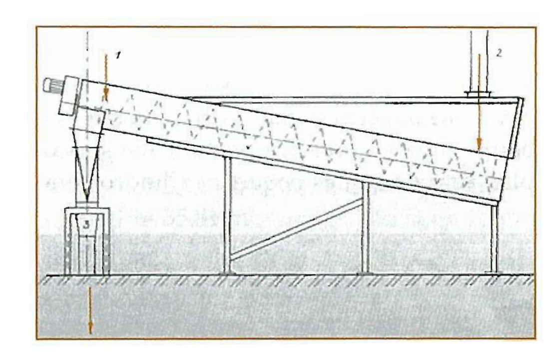


Figura 2.43: Tornillo sinfín de remojo
(1) entrada de agua de remojo, (2) entrada de la cebada, (3) salida de la cebada prerremojada

Con un tambor de remojo y lavado se logra un proceso de limpieza particularmente intensivo (Figuras 2.43a y 2.43b). En el tambor que se encuentra en rotación, la cebada es provista de agua a 25 °C durante aproximadamente 30

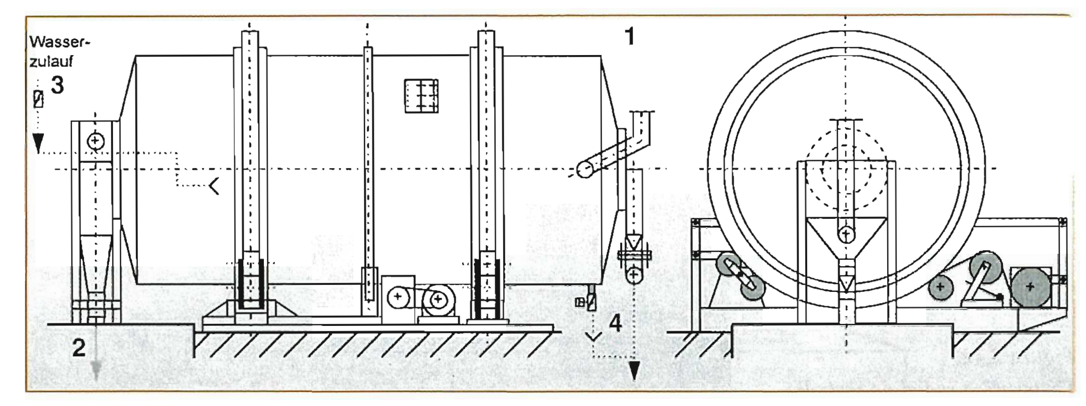


Figura 2.43a: Tambor de lavado o remojo - vista longitudinal y transversal con accionamiento (1) alimentación de cebada, (2) cebada lavada, (3) alimentación de agua, (4) descarga de agua

(Patente Friedrich Weissheimer Malzfabrik, Andernach)

a 45 minutos y se la mueve en sentido contrario por medio de canastos de elevación. El buen efecto de limpieza del tambor tiene como objetivo especial remover esporas de mohos ubicadas sobre la superficie de los granos de cebada (tambor anti-gushing). El tambor de remojo impulsa una absorción rápida de agua en la cebada de hasta 27 a 30%.

La figura 2.44 muestra un corte a través de una sala de remojo moderna. Pero también hay muchas otras variantes en uso. Sin embargo, cada vez más frecuentemente se acoplan varios tanques pequeños cilindro-cónicos de prerremojo con un tanque de remojo de fondo plano, intercalado detrás.

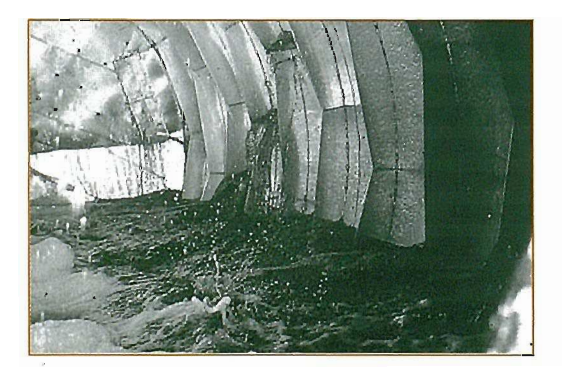


Figura 2.43b
Vista dentro del tambor de remojo

(Foto: Friedrich Weissheimer Malzfabrik)

▶ *Comparación*:

Los tanques de remojo cónicos se construyen hasta un tamaño apto para 50 a 60 t de cebada; para lotes diarios mayores, se utilizan varios tanques de remojo en paralelo. El consumo de agua es aproximadamente 4 a 6 m^3/t de malta.

Los tanques de remojo de fondo plano son aptos para lotes grandes y realizan un tratamiento uniforme del producto. Por lo general, se los utiliza como tanque de remojo inferior, recibiendo el producto remojado de varios tanques de prerremojo.

Son desventajosos

- los mayores costos de inversión, debidos a la armadura de bandeja y a la máquina de carga y descarga,
- el mayor consumo de agua con 5 a 7 m^3/t de malta, debido al espacio sin utilizar debajo de la bandeja, y
- la limpieza a alta presión debajo de la bandeja.

Los tambores de lavado son especialmente aptos para la primera fase de remojo en combinación con un remojo posterior por inmersión o por rociado. El consumo de agua con

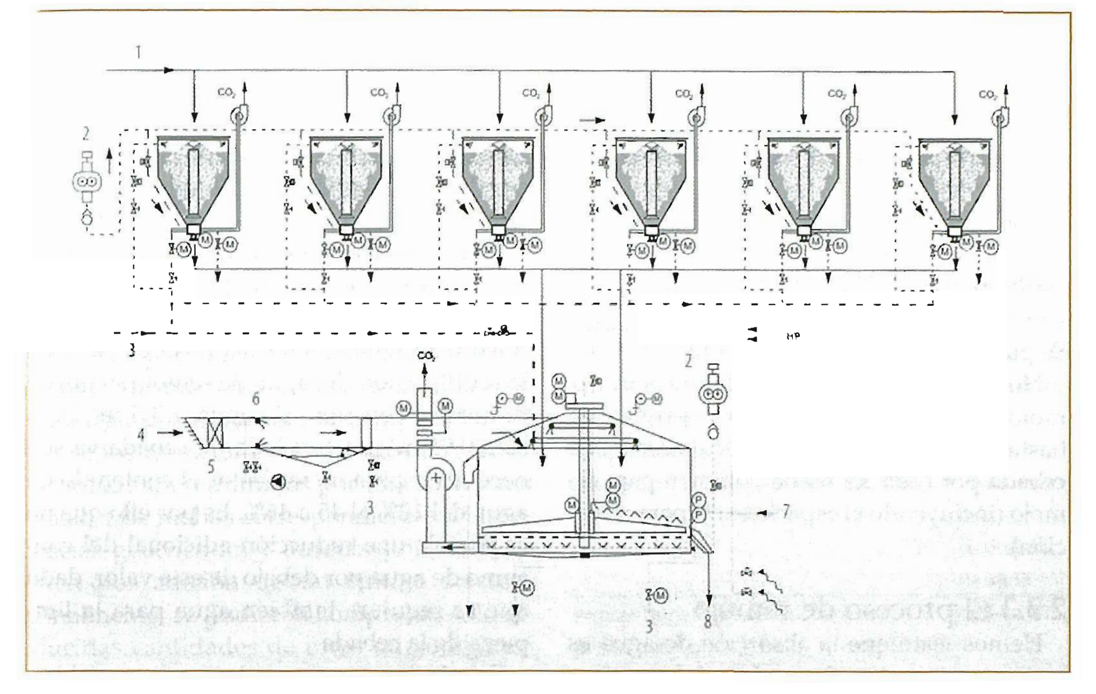


Figura 2.44: Sala de remojo moderna
(1) alimentación de cebada, (2) aireación, (3) alimentación de agua fresca, (4) aire fresco, (5) calefacción/enfriamiento, (6) humedecimiento, (7) aire comprimido, (8) cebada remojada

este sistema es particularmente bajo, con 0,6 a 0,8 m^3/t de malta.

El consumo de electricidad para el remojo es 2,0 a 2,5 kWh/t de malta.

El volumen del tanque de remojo cónico se calcula como la suma de los volúmenes de un cilindro y de un cono de igual diámetro. El volumen de un tanque de remojo de fondo plano se calcula como el volumen de un cilindro.

$$V_{tr} = V_{cil} + V_{con}$$
$$V_{cil} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{cil}$$
$$V_{con} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{con} : 3$$
$$Vtr = \pi \cdot r^2 \cdot (h_{cil} + h_{con} : 3)$$

Ejemplo:

El diámetro de un tanque de remojo es 4,90 m. La altura de la parte cilíndrica es 1,90 m, la de la parte cónica 2,40 m. ¿Cuánto es el contenido del tanque de remojo cónico?

a) contenido de la parte cilíndrica:

$$V_{cil} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{cil}$$
$$= 3{,}14 \cdot 2{,}45\ m \cdot 2{,}45\ m \cdot 1{,}90\ m$$
$$V_{cil} = 35{,}81\ m^3$$

b) contenido de la parte cónica:

$$V_{con} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{con} : 3$$
$$= 3{,}14 \cdot 2{,}45\ m \cdot 2{,}45\ m \cdot 2{,}40\ m : 3$$
$$Vcon = 15{,}08\ m^3$$

c) contenido del tanque de remojo cónico:

$$V_{cil} + V_{con} = 35{,}81\ m^3 + 15{,}08\ m^3 = 50{,}89\ m^3$$

El tanque de remojo de fondo cónico tiene un contenido de 50,9 m^3.

Problema:

Queremos determinar la cantidad de cebada que puede ser remojada en este tanque de remojo.

Asumimos un peso hectolítrico promedio de la cebada que es aproximadamente 70 kg

(ver Sección 1.1.5.2.3). El volumen de la cebada aumenta aproximadamente en un 40 % en el remojo, debido a la absorción de agua. De acuerdo con esto, 1,40 hl de cebada remojada corresponden a 70 kg de cebada sin remojar:

1,40 hl = 70 kg

$$508{,}90\ \text{hl} = \frac{508{,}90\ \text{hl} \cdot 70\ \text{kg}}{1{,}40\ \text{hl}} = 25445\ \text{kg}$$

Se pueden remojar 25 t de cebada.

Hoy en día se construyen tanques de remojo para cargas de materias primas de hasta 75 t. Por lo general, se calcula con 1 t de cebada por cada 2,4 m^3 de volumen para remojo (incluyendo el espacio extra para aireación).

2.3.3 El proceso de remojo

Hemos visto que la absorción de agua es muy grande en la primera fase del remojo y que luego disminuye cada vez más. Por otro lado, la actividad vital del grano es muy reducida al principio y se incrementa posteriormente -en especial la respiración- de forma abrupta.

Esto significa para nosotros que únicamente podemos sumergir sin riesgo la cebada en agua en las primeras horas, porque luego tendremos que ocuparnos del abastecimiento de aire y de la evacuación de CO_2.

El remojo tiene lugar de manera tal que el tanque es llenado con el agua de remojo. Luego la cebada es introducida echándola sobre una chapa deflectora. Una pequeña parte de los granos en remojo no se hunde, aun a pesar del movimiento. Estos son granos flotantes, que son recogidos en un rebosadero y vendidos como forraje de bajo valor. La porción de esta cebada flotante es reducida (0,1 a 0,2%).

Esta agua de remojo inicial está cada vez más sucia, por lo cual se prefiere cambiarla pronto. Pero, por otro lado, es de interés ahorrar agua, dado que ésta es cara.

En algunas malterías se desiste de la remoción de la cebada flotante y se confía en que estos granos huecos, que tampoco tienen valor alguno como forraje, serán removidos ampliamente en las etapas de cribas correspondientes a la limpieza de cebada intercalada.

El 90% del consumo de agua de la maltería se requiere en la sala de remojo. Se calcula, según el proceso de remojo, con un requerimiento de agua de 4 hasta máximo 7 m^3. Con la reutilización del agua de remojo se puede reducir el consumo de agua a 3,5 m^3. Pero sólo 0,94 m^3 por tonelada de cebada ya son necesarios para incrementar el contenido de agua del 12% al 45 a 46%. Es por ello que no es posible una reducción adicional del consumo de agua por debajo de este valor, dado que se requiere también agua para la limpieza de la cebada.

En relación con esto, adquiere especial importancia la prelimpieza de la cebada en seco [157], por medio de una máquina de roce. De esta manera se puede reducir la cantidad de agua residual, que hoy en día es de 3 a 5,3 m^3/t en promedio, y particularmente también su carga de suciedad. Los valores de carga de suciedad de las aguas residuales de maltería son del orden de

- 2,9 a 4,5 kg BSB5/t de malta terminada*, respectivamente
- 3,4 a 7,95 kg CSB/t de malta terminada*.

* BSB5 = demanda bioquímica de oxígeno en 5 días
CSB = demanda química de oxígeno

Se logra un ahorro de agua sobre todo por la reutilización del agua de remojo. Debido a la carga del agua ya usada, se debería utilizar ésta para el remojo del próximo lote. No se trata aquí solamente de la suciedad que se encuentra sobre la superficie de los granos de cebada, sino que se trata sobre todo de eliminar también bacterias y mohos, lo cual es realizado en algunos países por adición de floculantes, tales como sulfato de aluminio,

poliacrilamida o formaldehído (formalina). El método está prohibido, según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

En relación con esto, se buscan procesos económicos para el tratamiento del agua, dado que así pueden continuar reduciéndose los elevados costos de agua fresca y de eliminación para desecho de aguas residuales.

Se ha podido demostrar en estudios más recientes [188] que si bien con la reutilización del agua de remojo usada se incrementa la porción de microorganismos, se modifica sin embargo positivamente la composición de éstos: los formadores de micotoxinas (fusarium) fueron reprimidos por un crecimiento notable de mohos correspondientes a las especies geotrichum y aureobasidium (también por adición de un cultivo starter). Finalmente, se pudieron comprobar sólo reducidas cantidades de estos microorganismos en la malta terminada.

Es por ello, que la reutilización del agua de remojo no sólo conduce a una reducción de la cantidad específica de agua residual, sino que, bajo determinadas circunstancias, tiene efectos microbiológicamente positivos sobre la malta, como producto final. Sin embargo, según la Disposición de Agua Potable 2000, el agua debe ser tratada antes de su reutilización (ver al respecto Sección 1.3.4)

Después de cuatro horas, a más tardar después de seis, se descarga la primera agua de remojo y se airea abundantemente la cebada. Ésta absorbe todavía el agua adherida a ella, de manera tal que continúa creciendo el contenido de agua, que ahora se llama grado de remojo. El CO_2, que se forma aquí, es evacuado por aspiración durante 10 a 15 minutos en cada hora, de manera tal que se puedan desarrollar totalmente los procesos vitales en la cebada lista para germinar. Este cambio entre remojo húmedo y reposo al aire ha sido desarrollado a tal punto, que hoy en día aproximadamente el 80% del tiempo de remojo transcurre en forma de reposo al aire.

De esta manera se puede limitar a 1 ó 1,5 día la permanencia de la cebada en el tanque de remojo, dado que la absorción de agua continúa luego en el lugar de germinación. Es por eso que ambos procesos no pueden llegar a ser separados exactamente entre sí.

Pero, para obtener un grado de remojo deseado de 44 a 47%, la absorción de agua en el tanque de remojo tiene que tener lugar hasta aproximadamente 36 a 38%. Esto se logra usualmente con dos remojos húmedos de cuatro horas cada uno, aproximadamente, separados entre sí 24 horas.

Ejemplo:

Operación	después de	durante	Incremento del contenido de agua
remojo hú-- medo, aireando después de	inicio de 2ª + 3ª hora	4 hs, cada 15 min.	de 14 a 30%
reposo al aire	4ª hora	20 hs	de 30 a 34%
remojo hú- medo, aireando después de	24ª hora, cada hora	3 hs, cada 15 min	de 34 a 38%

Posteriormente, tiene lugar el escurrido y el rociado del agua aún necesaria en el lugar de germinación.

No existe ninguna necesidad de mantener el ritmo de 24 horas. Es más necesario adaptarse a las condiciones de crecimiento y cambio. De esta manera pueden establecerse otros ritmos. Obviamente, esto requiere una flexibilidad notablemente mayor por parte del personal de operación.

Con un abastecimiento tan intensivo de oxígeno y agua a la cebada, se puede esperar que tenga lugar un inicio uniforme de germinación de la cebada, aún antes del escurrido.

El escurrido se realiza

- húmedo, con agua, o
- seco, sin agua.

2.4 Germinación de la cebada

En la germinación se forma una nueva planta de cebada, a partir del grano. Para la formación de la nueva planta, la cebada requiere grandes cantidades de energía y substancias básicas, que se obtienen a través de la respiración y otros procesos vitales. Antes de que la planta joven sea capaz de interactuar con el ambiente y de producir por sí misma el azúcar, a través de fotosíntesis, debe hacer uso de las substancias de reserva existentes en el endospermo.

Las substancias contenidas en el endospermo se encuentran, antes del proceso de malteado, en una forma estable, de alto peso molecular. Dado que cualquier transporte dentro de los organismos únicamente puede ser realizado con ayuda de agua, estas substancias deben ser degradadas a productos solubles de bajo peso molecular. Esta degradación es realizada por enzimas que se forman durante la germinación.

La producción de enzimas es el propósito principal del malteado. Estas enzimas son absolutamente esenciales para la degradación de substancias en la maceración. Para evitar una merma de substancias, se restringen los procesos de degradación enzimática durante el malteado.

La germinación tiene lugar en instalaciones operadas neumáticamente y sólo raramente sobre la era.

2.4.1 Procesos durante la germinación

En los procesos se distingue entre: procesos de crecimiento, producción de enzimas y cambios metabólicos.

2.4.1.1 Procesos de crecimiento

En el grano germinante se desarrollan las raicillas y la acrospira.

Raicilla

La raicilla quiebra, hacia el final del remojo, la base del grano, haciéndose visible (Figura 2.45). Su aspecto es característico para cada estado de crecimiento, dándole el nombre al producto que se encuentra germinando en montones. Por ejemplo, se habla de piezas quebradas (Brechhaufen), cuando la raicilla sale quebrando la base; de piezas ahorquilladas (Gabelhaufen), cuando las raicillas se ahorquillan, o de piezas enredadas (Greifhaufen), cuando se enredan entre sí las raicillas de varios granos. La raicilla, que se ramifica en dos a cuatro pequeñas raíces al cabo de dos días, debe alcanzar, para la malta tipo Pilsner, una longitud aproximadamente equivalente a 1,5 veces la longitud de grano, y aproximadamente el doble de esta última para malta oscura.

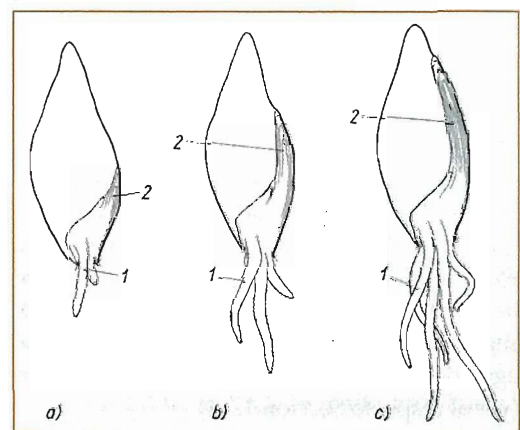


Figura 2.45
Procesos de crecimiento en el grano de cebada en germinación
a) al primer día de germinación, b) al tercer día de germinación, c) al quinto día de germinación
(1) raicilla, (2) acrospira

Las raicillas son eliminadas por frotación en la limpieza de la malta, después del tostado. Ellas forman una parte de la merma (pérdida por malteado).

A los efectos de mantener la pérdida por malteado lo más reducida posible, deben te-

ıerse en cuenta factores que influyen en la ormación de la raíz. La formación de la raíz s influida por la duración de la germinación por la temperatura del producto en germinación. Cuanto más tiempo dure la germinación y cuanto mayor sea la temperatura de la misma, tanto más largas serán las raíces y tanto mayor será la pérdida por malteado.

Para mantener baja la pérdida radicular, la germinación es realizada a la temperatura más baja y en el tiempo más breve posibles.

La pérdida debida a las raicillas es aproximadamente el 4% de la materia seca de la malta.

Acrospira

La acrospira quiebra la testa (cubierta de semilla) -pero no la cáscara- y crece debajo de esta última por la parte dorsal del grano hasta la punta. Se la puede reconocer debajo de la cáscara como abultamiento y es una característica importante de diferenciación respecto de la cebada, que no posee acrospira (comparar en Figura 2.1). La acrospira no es quitada por frotamiento durante la limpieza de la malta, dado que no crece hacia afuera del grano. Es por eso que no constituye una pérdida. ¡Pero en la acrospira se enriquecen las lipooxigenasas, que degradan grasas!

La longitud de la acrospira está relacionada con el progreso de los procesos de cambios metabólicos (ver Sección 2.4.1.3) en el interior del grano. El desarrollo de la acrospira y el progreso de la modificación del grano transcurren aproximadamente de forma paralela entre sí.

La acrospira debe alcanzar sólo una longitud aproximada equivalente a 2/3 a 3/4 de la longitud de grano para la malta tipo Pilsner y de aproximadamente 3/4 a 1/1 de la longitud de grano para la malta oscura. Ello es debido a que la modificación debe avanzar sólo hasta un determinado punto, porque si no son muy grandes los cambios metabólicos y, con ello, las pérdidas.

El diferente grado de modificación en ambos tipos de malta se debe a la distinta cantidad de productos de degradación que se debe formar en aquéllos.

Si la acrospira sobrepasa la longitud del grano, se hace visible en la punta. Estos granos son denominados húsares (según una compañía de jinetes húngaros, que usaba cascos con penacho). Si al final de la germinación aparecen húsares, ello es debido a una elevada temperatura en la germinación o errores en la manipulación del lote.

2.4.1.2 Formación de enzimas

Pocas horas después de la absorción de agua, el embrión excreta substancias de crecimiento (ácido giberélico) que avanzan hacia la capa de aleurona, estimulando allí y en el escutelo la formación nueva de enzimas, tales como por ejemplo la α-amilasa o la dextrinasa límite (Figura 2.46), mientras es liberada β-amilasa, ya existente en gran cantidad en el endospermo.

De las numerosas enzimas y complejos enzimáticos contenidos en la cebada, nos interesan sobre todo los siguientes:

- enzimas degradadoras de almidón: α-amilasa, β-amilasa y dextrinasa límite,
- enzimas citolíticas: endo-β-glucanasa, exo-β-glucanasa, β-glucanosolubilasa, endo-xilanasa,
- enzimas degradadoras de proteínas o proteolíticas: proteinasas, peptidasas,
- enzimas degradadoras de grasas: lipasas, en especial las lipooxigenasas, y
- enzimas disociadoras de éster fosfórico: fosfatasa.

Con excepción de la α-amilasa, que no está aún contenida en la cebada, las exo-enzimas ya se encuentran contenidas en la cebada en pequeñas cantidades. La formación de la mayoría de las enzimas se desarrolla de forma paralela con la respiración. Un producto en germinación bien aireado desarrolla enzimas más temprana y más abundantemente.

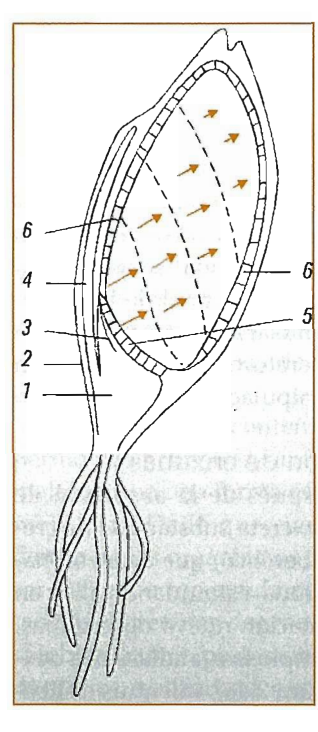


Figura 2.46
Formación de enzimas en el grano de cebada en germinación (según Palmer)
(1) embrión,
(2) cáscara,
(3) acrospira inicial,
(4) acrospira,
(5) capa epitelial,
(6) capa de aleurona

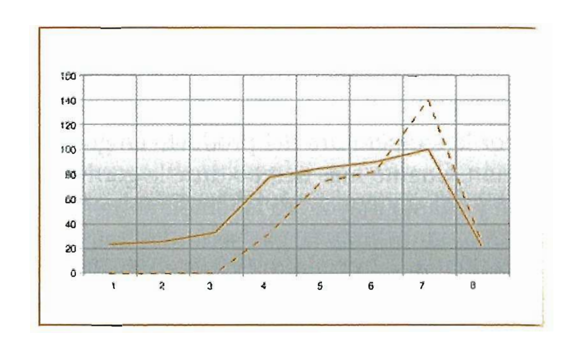


Figura 2.46a
Formación de la α- y β-amilasa durante la germinación
α-amilasa: línea de punto y raya; β-amilasa: línea continua
(1) cebada; (2) cebada remojada; (3) primer día de germinación; (4) segundo día de germinación; (5) tercer día de germinación; (6) cuarto día de germinación; (7) quinto día de germinación (8) malta tostada

2.4.1.2.1 Enzimas degradadoras de almidón (amilasas)

Las amilasas son, sin duda, las enzimas más importantes en la malta. Con su ayuda debe ocurrir la degradación de almidón, más tarde en la maceración.

α-amilasa

La α-amilasa no es detectable en la cebada sin germinar (Figura 2.46a). Su desarrollo está ligado a la existencia de oxígeno. La cantidad principal de la α-amilasa se forma al tercer y cuarto día de germinación. También durante el ulterior desarrollo de la germinación crece su contenido, siendo luego fuertemente reducido en el tostado.

La formación de la α-amilasa está ligada directamente con la respiración del grano en los primeros días de germinación. Por ello, una aireación en cantidad suficiente durante la primera fase de la germinación es importante para la formación de α-amilasa.

La formación de la dextrinasa límite corre paralela a la formación de la α-amilasa.

Para las maltas muy ricas en enzimas, tales como se requieren en la destilería, por ejemplo, para el procesamiento de grandes cantidades de almidón, se deja germinar la cebada durante un tiempo muy prolongado. Se incrementa entonces progresivamente el contenido de α-amilasa, mientras crecen cada vez más las raicillas y con ello también las pérdidas.

β-amilasa

La β-amilasa ya se encuentra en la cebada sin germinar en mayor cantidad (ver Figura 2.46 a). Luego de pequeñas pérdidas, la cantidad de β-amilasa se incrementa considerablemente en el segundo y tercer día de germinación.

En los últimos días de la germinación, el contenido de β-amilasa ya casi no se modifica. Con el tostado, el contenido de β-amilasa se reduce, encontrándose posterior-

mente sólo mínimamente por encima del nivel previo a la germinación.

La cantidad de las α- y β-amilasas formadas durante la germinación depende de una serie de factores [104, 105]:

- El contenido de amilasas es una propiedad varietal, que además es influida por las condiciones climáticas.
- Granos grandes de una variedad de cebada forman más amilasa que granos pequeños de la misma variedad.
- La cantidad de amilasas aumenta con un mayor contenido de agua en la malta verde.
- Una aireación intensiva estimula el desarrollo de la α-amilasa.
- Una germinación fría da siempre los valores más altos de amilasa. Si bien una temperatura más elevada de remojo y germinación causa un inicio más temprano de la formación de enzimas, la cantidad formada es menor.

La actividad de las amilasas es medida como poder diastático y es expresada en "Unidades Windisch-Kolbach" (Unidades WK).

2.4.1.2.2 Formación de otros grupos de enzimas

En la germinación estamos en la formación de las enzimas α- y β-amilasa, encargadas de la degradación de almidón. Sin embargo, no estamos interesados en su actividad, que recién debe tener lugar al máximo en la sala de cocción. Contrario a esto, se forma aparte durante la germinación una serie de enzimas cuyos procesos de degradación durante la germinación son de importancia decisiva para la calidad de la malta en formación. En las próximas secciones se tratará sobre la formación y acción de estas enzimas. Estas enzimas están contenidas en la cebada, en su mayoría, en muy reducida cantidad y se forman principalmente al tercer y cuarto día de germinación. Lo dicho para la formación de las amilasas vale en lo esencial también para la formación de estos grupos de enzimas.

2.4.1.3 Cambios metabólicos durante la germinación

Durante la germinación no sólo se forman y multiplican las enzimas, sino que éstas ya son necesarias de forma limitada para poder suministrar nutrientes al embrión. Por eso, las enzimas causan cambios, en todos los cuales se llega a productos de degradación de bajo peso molecular a partir de substancias de alto peso molecular.

Dado que en el desarrollo posterior los productos de degradación son consumidos por respiración o transportados a los embriones para formar nuevas substancias celulares, se los pierde para un procesamiento ulterior. Es por ello que los malteros están interesados en permitir la respiración y la formación de nuevo tejido celular solamente de forma restringida.

Respecto de los cambios metabólicos, interesan al maltero en especial

los procesos de degradación comprendidos bajo el

- nombre de "modificación",
- la degradación de almidón, y
- la degradación de substancias albuminoideas.

2.4.1.3.1 Modificación y degradación de los β-glucanos

Hemos visto (Sección 1.1.3.2) que la pared celular del endospermo está compuesta por una laminilla media de proteínas, la cual está envuelta a ambos lados por una capa de β-glucano. Éstas, a su vez, están flanqueadas a ambos lados por capas porosas de pentosano, en las cuales están depositados diferentes ácidos orgánicos. Durante el proceso de malteado se degrada primeramente la laminilla media compuesta por proteínas [248, 249], de manera de dejar al descubierto la estructura de pentosano. Luego son degrada-

dos los ácidos orgánicos y los pentosanos por parte de las xilanasas, antes de que las glucanasas comiencen la degradación de β-glucano y puedan atacar y destruir visiblemente la estructura celular rígida.

La degradación de los grupos de substancias ocurre en un orden establecido, después de dejar al descubierto, respectivamente, formar las enzimas a través de la capa de aleurona. Si esta cadena de acción es perturbada por influencias ambientales externas, tales como elevada acción del calor durante la fase de maduración u otros factores climáticos, quedan residuos celulares sin degradar de β-glucano, de pentosano y de proteínas que influyen sobre la capacidad de filtración de la malta en formación.

La degradación del β-glucano es realizada por

- la endo-β-1,4-glucanasa,
- la endo-β-1,3-glucanasa, así como por
- la exo-β-glucanasa, que ya está preformada en el grano.

A ello se le agrega la β-glucanosolubilasa, que libera el β-glucano de las uniones con las proteínas.

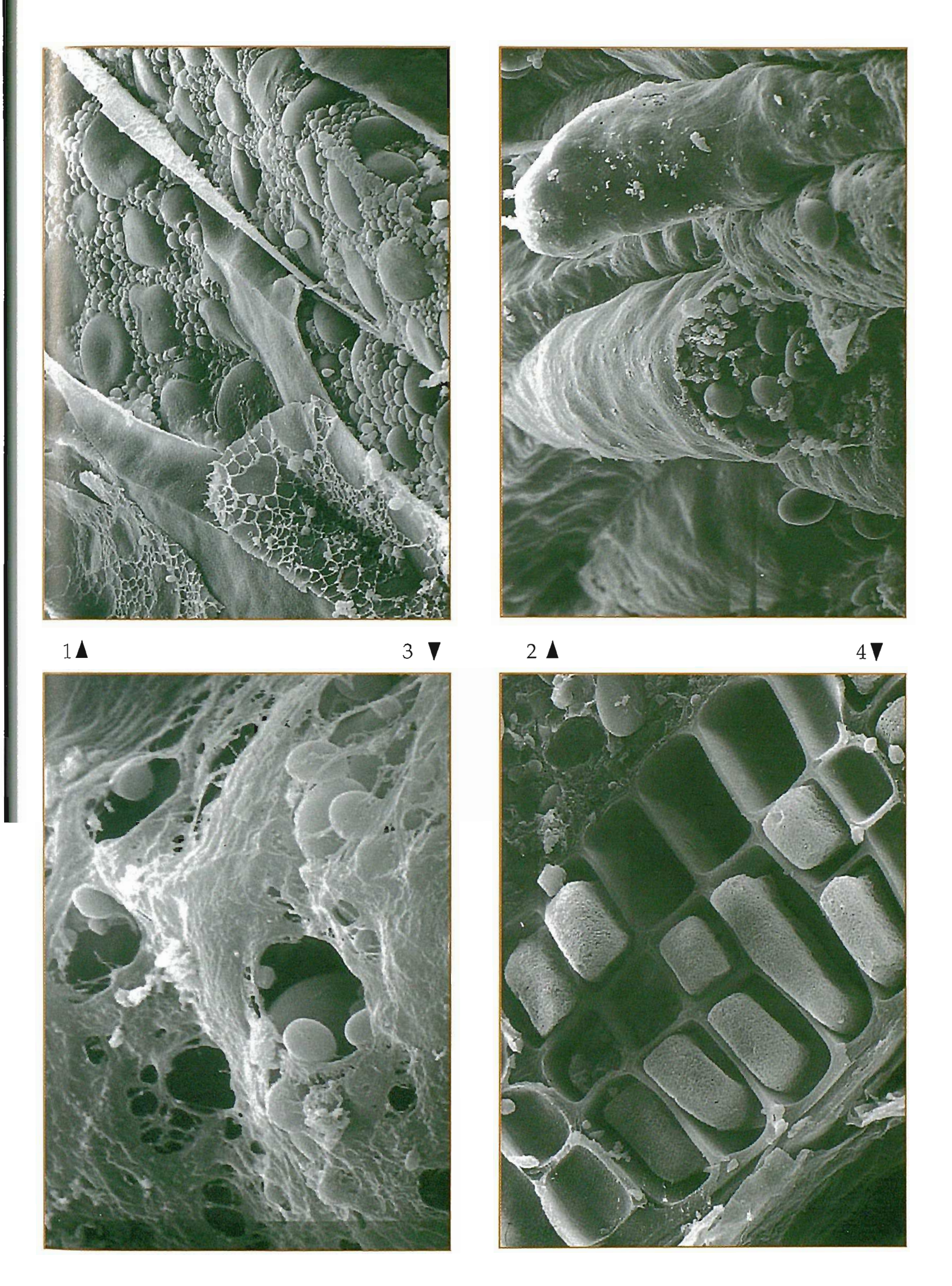
El trabajo de los β-glucanos se encadena entre sí, destroza progresivamente la estructura celular rígida, liberando de esta manera, para otras enzimas, el camino al interior del endospermo. De este modo y a partir de ello, la degradación enzimática puede tener lugar más fácilmente.

Este proceso se denomina disolución, modificación o citólisis. La modificación se manifiesta por una progresiva friabilidad del grano. El contenido muy duro del grano de cebada puede ser triturado entre ambos dedos, al final de la germinación. Tan pronto como con el contenido no se formen más rodillitos por trituración, sino que éste se deje esparcir como si fuera tiza, el grano estará lo suficientemente disuelto y la germinación podrá ser finalizada. Este proceso define la duración de la germinación, luego de que la cantidad principal de enzimas ya fue formada después de tres a cuatro días.

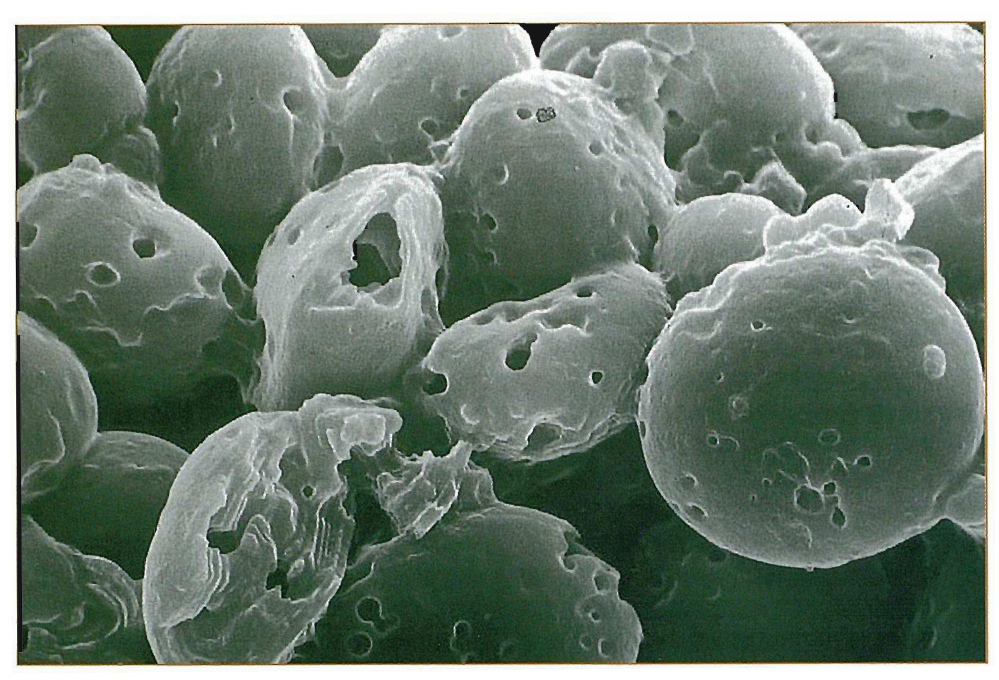
Las β-glucanasas degradan el β-glucano hasta dextrinas. La β-glucanosolubilasa, que tiene una temperatura óptima y una temperatura de inactivación más elevadas que los otros β-glucanos, degrada únicamente a β-glucanos de alto peso molecular. Dado que luego, durante la maceración, se mantienen temperaturas por encima de 60°C, debido a la degradación de almidón -siempre que no se macere a esa temperatura, tal como ocurre hoy en día cada vez más-, los β-glucanos de alto peso molecular formados por la ß-glucanosolubilasa ya no pueden ser degradados a glucanos de bajo peso molecular o a dextrinas. Sin embargo, los β-glucanos de alto peso molecular tienden, bajo determinadas influencias como esfuerzo de corte o solicitación de extensión, a la formación de geles con un consecuente incremento de la viscosidad, que puede causar dificultades de filtración y otros efectos colaterales. De ello resulta que la citólisis (la modificación) debe ser impulsada en la maltería hasta el grado deseado por la fábrica de cerveza.

La modificación tiene otro aspecto más: La modificación avanza desde el escutelo en dirección hacia la punta. Con una modificación muy justa, es posible que no se alcancen las puntas de grano. En ese caso, quedan células de almidón tal como están constituidas y son liberadas recién con las altas temperaturas de la maceración. Pero para entonces aún no están convertidas en azúcares, pudiendo originar en la paila de mosto una coloración azulada anormal de la tintura de iodo (ver Sección 3.2.1.3). ¡Una corrección posterior es muy complicada!

¡Es por ello que la modificación de la malta, la citólisis, es tarea exclusiva del maltero!



2



5

Vista al interior del grano

(1) Células de almidón en el endospermo

La pared celular aún intacta está parcialmente removida, pudiendo verse el interior de las células de almidón. Se pueden reconocer notablemente granos muy grandes de almidón (de hasta 30 μm) y granos muy pequeños de almidón (de hasta 5 μm); no hay tamaños intermedios en el almidón de cebada. De esta manera, los granos de cebada están firmemente depositados en las células de cebada.

(2) Las células de almidón

Los granos de almidón se encuentran unidos en las células de almidón, como en una bolsa firme o en un saco robusto. Esto es claramente visible en la célula de almidón abierta, cuyo contenido se está derramando. La estructura estable de las células de almidón otorga al grano de cebada un contenido de grano muy firme, que es muy difícil de triturar.

(3) Las paredes celulares rígidas se hacen permeables

Debido a la degradación enzimática, se disuelven partes de la pared celular, quedando así porosa y permeable la estructura previamente rígida. Vemos que con ello el interior de la célula es accesible. El contenido del grano es cada vez más friable. Esto es lo que se entiende como la "modificación" o citólisis.

(4) La capa de aleurona

La capa de aleurona envuelve la capa del endospermo y está compuesta por una capa múltiple de células ricas en proteínas. Estas células de un tipo totalmente diferente no contienen almidón, sino granos de aleurona, que están compuestos por una substancia que contiene proteínas y que -tal como puede verse claramente- ya también son algo degradados en el malteado. La capa de aleurona es el centro de formación de enzimas de la cebada en germinación.

(5) Degradación incipiente del almidón

Con el aumento del contenido de agua en el grano de cebada, la respiración se hace más intensa; el embrión requiere entonces azúcar para la respiración. Este último se obtiene por la degradación enzimática del almidón vecino al embrión. Vemos el ataque puntual de las enzimas sobre los granos de almidón y la degradación en progreso, al principio sólo en las células cercanas al embrión; se puede ver aquí muy bien la estructura acebollada de las capas de los granos de almidón.

(Fotografías tomadas con microscopio electrónico de barrido en Techn. Universität München-Weihenstephan, Institut für Technologie der Brauerei I)

Para el maltero es muy importante el control de la energía de germinación, porque las maltas de cebadas con insuficiente energía de germinación casi con seguridad tendrán problemas de filtración, debido a los granos sin maltear. Por ello, es importante para el maltero:

¡Procesar únicamente cebadas sanas con elevada energía de germinación!

Almacenar la cebada en estado seco - ¡Contenido de agua 12%!

Bajo el punto de vista de la utilización de las nuevas variedades de cebada, que tienen una muy buena modificación citolítica y una amplia modificación proteolítica, resulta para la fabricación de malta: amortiguamiento de la modificación por

- disminución de la humedad del producto en germinación, y
- baja temperatura de germinación.

En primer lugar, importa la uniformidad de la germinación, a los efectos de producir una malta homogénea. Cualquier mezcla con lotes que contengan granos sin maltear es problemática y produce, a través de la ß-glucanosolubilasa, β-glucano de alto peso molecular, el cual aún se disuelve con 60 a 70°C en la sala de cocción, no pudiendo ya ser degradado. En estos casos, queda como última oportunidad un calentamiento de la cerveza a una temperatura de 70 a 80°C durante 30 a 50 segundos, con un enfriamiento subsecuente (craqueo). Los geles se disuelven en el calor, asegurándose así la filtrabilidad. Sin embargo, este proceso no es aplicable en la operación práctica.

La malta es el factor decisivo para el contenido de β-glucano en el mosto y en la cerveza. El contenido de β-glucano no debería ser mayor que 200 mg/l en el mosto.

Dado que los β-glucanos de alto peso molecular son los máximos responsables de una posible formación de geles (y con ello de los problemas de filtración), la malta debería tener un alto contenido de endo-β-glucanasas para su degradación. Son deseables 120 unidades de endo-β-glucanasas por kg de malta.

Evaluación de la modificación

La modificación es un proceso muy complejo y de gran importancia para la calidad de la malta.

Se obtiene información sobre el grado de modificación por

- el valor de friabilímetro (mayor que 85, mejor mayor que 90%) (ver Sección 2.8.2.6),
- granos totalmente vítreos (menor que 2%) (ver Sección 2.8.2.5)
- la diferencia molienda fina-gruesa (máximo 1%) (ver Sección 2.8.3.2),
- el grado de modificación proteica (Índice de Kolbach) (38 a 42%) (ver aquí),
- el contenido de β-glucano a 65°C (< 350 mg/l),
- la medición de la viscosidad del mosto a 65°C (< 1,6 mPas) (ver Sección 2.8.3.2),
- el método de lijado de los granos (ver Sección 2.8.2.10).

En la determinación del grado de modificación proteica (Índice de Kolbach) se controla qué porcentaje de las proteínas de la cebada ha sido degradado en el malteado a una forma soluble. Este valor se encuentra normalmente en el orden de aproximadamente 38 a 42%, pero puede variar en un rango más amplio.

Cuanto menor sea el grado de modificación proteica (Índice de Kolbach) tanto menos estará disuelta la malta y tanto menos habrá ocurrido la degradación. Es de esperar, entonces, que las paredes celulares aún no estén lo suficientemente degradadas y que la desintegración posterior del al-midón, sobre todo en las puntas del grano, pueda causar problemas. Además, los β-glucanos no degradados pueden conducir, bajo solicitaciones de extensión o de corte, a la formación de geles, causando con ello problemas de filtración.

Por otro lado, un alto grado de modificación proteica introduce muchos productos de degradación en la malta, por ejemplo aminoácidos. Pero los numerosos aminoácidos constituidos forman en el tostado, junto con los azúcares ya formados, productos Maillard (ver Sección 2.5.1.3), que no sólo aumentan el índice de turbiedad y con ello el color de la cerveza, sino que sus productos de transformación influyen sobre una reducción en la estabilidad de sabor de la cerveza.

Es por ello que no se está interesado en que el grado de modificación proteica (Índice Kolbach) sea mayor que 41%.

La tendencia a una mayor o menor modificación proteica es ampliamente dependiente de la variedad, mientras que factores ambientales y de otro tipo tienen más bien una influencia poco relevante [183]. Variedades tales como Alexis, Chariot o Scarlett son solubilizantes en término medio, mientras que variedades tales como, por ejemplo, Thuringia, Maresi o Krona tienden a ser altamente solubilizantes. Esto debe ser tenido en cuenta en la germinación.

En relación con esto tiene también importancia la reducción del suministro de oxígeno a partir del tercer día de germinación, porque así

- se reduce la merma por malteado, y
- se baja el grado de modificación proteica.

2.4.1.3.2 Degradación de almidón

El almidón es el potencial energético del embrión. A través de la respiración, el embrión obtiene el azúcar y las cantidades de energía necesarios, que necesita para la realización de sus funciones vitales y la constitución de nuevas substancias celulares. Ello tiene lugar hasta que sea capaz de realizar por sí mismo la fotosíntesis.

Para la respiración, el almidón debe ser transformado en azúcares transportables y suministrado al embrión. Pero por la respiración, el almidón se pierde como proveedor de extracto para la producción de mosto. Es por ello que los malteros están interesados en restringir la respiración lo más posible, para reducir las pérdidas.

La dimensión de la transformación es mayor de lo que se piensa a primera vista, tal como lo muestra la siguiente consideración.

En la germinación disminuye el contenido de almidón y crece el de azúcar:

	Contenido en % almidón	azúcar
cebada	63	2
malta	58	8

De acuerdo con esto, se habría degradado 5 a 6% de almidón a azúcar. Sin embargo, este cálculo no es correcto, debido a que los porcentajes no se basan en el mismo valor de partida.

De 100 g de materia seca de cebada se obtienen aproximadamente 90 g de materia seca de malta (empíricamente).

En 100 g de cebada hay contenidos 63 g de almidón. Si no se consumieran productos de degradación del almidón por respiración, los 90 g de malta obtenidos de los 100 g de cebada tendrían que contener todavía 63 g de almidón. Es decir, un 70%. Dado que sólo hay un 58%, se degradó aproximadamente un 12% de almidón; es decir, que la mitad del azúcar formado fue consumida por la respiración. El consumo por respiración de los productos de degradación del almidón significa una merma para la maltería. La respiración depende de la duración de germinación, de la temperatura y del grado de aireación.

Para mantener la merma por respiración tan baja como sea posible, la germinación tiene lugar en el tiempo más breve posible y a una temperatura tan baja como se pueda. El producto en germinación debe recibir únicamente la cantidad de aire absolutamente necesaria.

A partir el tercer día de germinación se restringe la respiración, para

- minimizar las pérdidas por respiración,
- bajar el grado de modificación proteica,
- reducir la actividad de las lipooxigenasas y, con ello,
- aportar a la estabilidad de sabor de la cerveza [151].

Los granos de almidón ilustrados (Figura 2.46c), en los cuales ya es claramente visible el efecto enzimático de las amilasas, provienen de restos de cerveza secados sobre un trozo de arcilla de una población obrera egipcia de hace 3000 años. Es claramente visible en esto que la cebada o el emmer eran necesariamente sometidos también en esos tiempos a la germinación y se formaban enzimas.

De los azúcares se encuentra en la malta sobre todo glucosa, pero también fructosa y sacarosa. No hay casi maltosa, porque es degradada inmediatamente. Después de la germinación, los granos de almidón siguen teniendo la misma forma y tamaño. Debido a la reducida degradación de almidón, los granos de almidón están atacados, lo cual es visible en el microscopio.



Figura 2.46c
Degradación de almidón hace 3000 años.
(Foto: Delwen Samuel; Society for General Microbiology)

2.4.1.3.3 Degradación de substancias albuminoideas

Las substancias albuminoideas no son consumidas por respiración, sino que se utilizan para la constitución de nuevos tejidos celulares, por ejemplo en la formación de la raíz. Para el transporte, las substancias albuminoideas insolubles de alto peso molecular deben ser transformadas en productos de degradación solubles de bajo peso molecular. De esta manera se modifica la composición de las substancias albuminoideas.

En la germinación, el 38 al 42% de las substancias albuminoideas son degradadas a solubles (grado de modificación proteica según Kolbach), formándose en esto sobre todo compuestos de bajo peso molecular (aminoácidos, oligopéptidos), debido a la tarea de las peptidasas. La degradación de proteínas se desarrolla de forma paralela con la modificación, no siendo controlada separadamente en la operación práctica.

En la Sección 2.4.1.3.1 se informó sobre las relaciones de la degradación de los β-glucanos (*citólisis*) y la degradación de las substancias albuminoideas (*proteólisis*) en el malteado. De la relación de los procesos de degradación resulta:

La citólisis y la proteólisis son tareas exclusivas del maltero. Las omisiones sólo pueden ser corregidas en la sala de cocción de forma incompleta.

Una parte de las substancias albuminoideas se transfiere a las raicillas. De esta manera se reduce el contenido de substancias albuminoideas en la malta en aproximadamente 0,3% frente al contenido en la cebada procesada.

2.4.1.3.4 Degradación de substancias grasas (*lípidos*)

Por medio de enzimas degradadoras de grasas (lipasas) se deshacen los enlaces de ésteres entre los ácidos grasos y el glicerol, siendo liberados con esto los ácidos grasos.

La degradación ulterior de los ácidos grasos es realizada por las lipooxigenasas, que se acumulan en especial en las acrospiras y las raicillas. Los productos de disociación que se forman (por ejemplo nonadienal) son responsables del aroma a pepino, que se hace notar claramente en la malta verde.

2.4.1.3.5 Formación de la preetapa de sulfuro de dimetilo en la germinación

El sulfuro de dimetilo, abreviado a continuación como DMS, es un compuesto volátil de azufre, que le otorga a la cerveza un olor que puede ser considerado como de "hierbas" o de "verduras". Es por ello de interés evitar la formación de DMS o eliminarlo.

Durante la germinación se forma una preetapa del DMS, el DSM-P (DMS-precursor), el cual es inestable al calor y se descompone a temperaturas mayores al DMS volátil.

Durante el remojo y la germinación, estamos interesados en transformar la menor cantidad posible de precursores en DMS. Pero en el remojo y la germinación se forman tantos más precursores,

- cuanto mayor es el grado de remojo y
- cuanto mayor es la temperatura de germinación.

Por ello, son buenas condiciones para un reducido contenido de DMS-precursor (DMS-P)

- un bajo grado de remojo y una baja humedad del producto en germinación y
- una baja temperatura de germinación y una modificación más restringida.

Una parte importante del precursor es transferida a las raicillas, de manera que sólo queda una parte en la malta limpiada. Sin embargo, esta parte remanente es alterada de forma importante durante el tostado, como veremos en la Sección 2.5.1.4. El problema DMS seguirá con nosotros hasta la cerveza.

2.4.1.3.6 Reguladores de germinación

Por la adición de determinadas substancias es posible intervenir regulando en el mecanismo de cambios metabólicos, para lograr efectos aceleradores o retardadores. Estas substancias son llamadas reguladores de germinación, diferenciándose aquí entre

- estimuladores, que tienen un efecto acelerador, e
- inhibidores, que tienen un efecto inhibidor.

Estimuladores

El estimulante más difundido es el ácido giberélico, que también se encuentra en pequeñas cantidades en la cebada sin germinar. El ácido giberélico es también un producto metabólico del moho fusarium moniliforme y fue aislado de forma pura ya en 1926 en Japón. Se obtiene por cultivo de este moho. El ácido giberélico es un polvo blanco, cristalino, con un tiempo de conservación limitado. La utilización es realizada en solución acuosa. Para ello, se predisuelve la cantidad calculada de ácido giberélico en alcohol o acetona (1 g en 50 ml) y esta presolución es mezclada con la cantidad requerida de agua. La solución de pulverización es preparada a lo sumo 24 horas antes de la aplicación, dado que se descompone, siendo entonces menos efectiva. La solución preparada es pulverizada sobre el producto en germinación, a través de una tobera, con aire comprimido o por medio de una bomba. En las cajas de germinación, las toberas se colocan en el volteador y la pulverización es realizada durante el volteo.

El ácido giberélico debe agregarse tan temprano como sea posible.

El ácido giberélico tiene el efecto más beneficioso cuando es pulverizado sobre el producto en germinación secado y ya rompiendo. La solución queda entonces adherida al grano y es absorbida rápidamente por el embrión.

La cantidad de ácido giberélico agregada es 0,03 ... 0,08 g por t de cebada.

La cantidad del agregado depende de la variedad de cebada, del año de cosecha y de cuando es realizado el malteado. Dado que el ácido giberélico reduce el reposo vegetativo, se agrega la cantidad máxima al principio de la campaña, reduciéndosela posteriormente.

Las ventajas para la maltería en la utilización del ácido giberélico son

- reducción del tiempo de germinación en 2 días,
- aumento del rendimiento de extracto en aproximadamente un 1%,
- reducción del reposo vegetativo en la cebada.

Inhibidores

Los inhibidores tienen una importancia notablemente menor que los estimuladores.

Por el agregado de bromato de potasio, puede ser inhibida por ejemplo la proteólisis.

El agregado de reguladores de germinación puede ser detectado en la malta.

No está permitido el uso de maltas tratadas con reguladores de germinación en las cervezas fabricadas según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

2.4.1.4 Conclusiones respecto de la realización de la germinación

Para la realización de la germinación, se aplican las siguientes consideraciones básicas:

1. La germinación es un proceso vital intensivo, que sólo puede tener lugar en presencia de agua en cantidad suficiente. Es por ello importante que el producto en germinación tenga, durante la germinación, un contenido de agua mayor que 40 %. Mientras se evapora una parte del agua, se produce continuamente agua (transpiración) por respiración. Si no alcanza la producción por transpiración, debe agregarse agua.

2. Como consecuencia de la respiración inicial intensiva, el producto en germinación debe ser abastecido con suficiente oxígeno. Con demasiada aireación, se consume por respiración demasiada substancia del grano. Con insuficiente aireación, comienza la respiración intramolecular, que puede conducir a la muerte del embrión. La respiración es máxima al principio de la germinación y puede ser reducida posteriormente.

3. La temperatura aumenta, debido a la respiración. Pero con esto, aumentan las pérdidas por respiración y crecimiento de raíz y se reduce la cantidad de enzimas.

A partir del tercer día de germinación puede ser restringida la respiración.

Las temperaturas máximas usuales durante la germinación son

para malta tipo Pilsner, 17 a 18°C
para malta oscura, 23 a 25°C: en el producto en germinación.

Para una realización racional de la germinación, es necesario regular el contenido de agua, la aireación y la temperatura.

2.4.2 Procesos de germinación

La germinación tiene lugar hoy en día casi exclusivamente en cajas de germinación circulares o rectangulares. Pero esto no fue siempre así: hasta hace unas pocas décadas –y en algunos casos, hace unos pocos años– la germinación se realizaba en eras.

2.4.2.1 Maltería de eras

En la maltería de eras el producto en germinación estaba depositado sobre la era. Esto era un espacio de aproximadamente 3 m de altura con un piso bien plano, el cual, en lo posible, estaba cubierto con placas de piedra Solnhofer, dado que éstas pueden absorber bien la humedad en exceso, debido a su porosidad.

La temperatura de la era debe ser lo más uniforme y fresca posible. Es por eso que las

eras eran construidas, en parte, bajo tierra o se las protegía del aire exterior con muros muy gruesos. Dado que la temperatura máxima durante la germinación no debe sobrepasar los 17 a 18°C, el malteado en la maltería de eras está limitado a las temporadas más frescas, y ya no es posible de realizar sin enfriamiento cuando comienza la temporada calurosa.

Se calcula en la maltería de eras con un requerimiento superficial de 1,7 m2 por cada 50 kg de cebada, dado que el producto en germinación se encuentra aquí con unos pocos centímetros de altura. Es por ello que se requiere mucho lugar en una maltería de eras, estando las eras en varios pisos, una sobre la otra.



Figura 2.47
Pala de maltero en la Insignia Cervecera

Pero el problema era la manipulación del producto en germinación sobre la era. Ésta tenía lugar con una pala de maltero de madera, la cual es mostrada en nuestra Insignia Cervecera (Figura 2.47). Cada montón debe ser volteado dos veces por día, para que el producto en germinación, que se encuentra abajo, sea traído hacia arriba y viceversa. La temperatura podía ser regulada por extensión del montón y por aireación del ambiente. Las operaciones se aliviaron por medio de aparatos adicionales, tales como la rastra, el arado, la horquilla y el garfio. Pero las desventajas de la maltería de eras, sobre todo la gran demanda de personal, de espacio de trabajo y la gran dependencia de la temperatura externa, terminaron la época de las eras. Los volteadores mecánicos de eras pudieron posponer por un tiempo el fin de las mismas.

A pesar de ello, se adoptó en la maltería una serie de términos de aquella época, que son importantes para nosotros. Así se habla de

- piezas quebradas (Spitzhaufen o Brechhaufen), cuando las raicillas atraviesan rompiendo la base del grano de cebada, siendo visibles como punto claro (el grano "mira"),
- piezas ahorquilladas (Gabelhaufen), cuando las raicillas se ahorquillan,
- piezas enredadas (Greifhaufen), cuando las raicillas se alargan y se enredan entre sí.

Si no se presta atención, las raicillas pueden afieltrarse totalmente entre sí. Tales montones afieltrados de malta verde se llaman gorriones (Spatzen). Dado que la temperatura en estos montones afieltrados es automáticamente mayor, los embriones crecen también más rápidamente; por lo general se hacen visibles entonces también las acrospiras. Tales granos se denominan húsares (según una compañía húngara de jinetes que usaban cascos con penachos decorativos).

El proceso de transporte de la malta verde, al final de la germinación, de la era al tostadero, se conoce como transferencia del montón, distribución o carga del tostadero.

2.4.2.2 Sistemas de malteado operados neumáticamente

Los sistemas de malteado modernos trabajan con una gran altura de carga volcada de la malta verde, por motivos económicos. Dado que así el aire (del griego pneu = aire) no fluye libremente a través del producto en germinación, debe ser presionado a través

de éste último en estos sistemas de malteado operados neumáticamente. Para ello, el aire debe ser enfriado y humedecido (acondicionado) previamente.

En los sistemas de malteado operados neumáticamente se regulan el contenido de agua, la temperatura y la humedad, insuflando aire frío y húmedo.

Por eso, los sistemas de malteado operados neumáticamente consisten de

- una planta acondicionadora para la producción de aire frío y húmedo, y
- una planta de germinación (caja, tambor, etc.), en la que germina la cebada.

2.4.2.2.1 Acondicionamiento del aire de ventilación

Únicamente en la maltería de eras el producto en germinación, depositado en capas finas, entra en contacto natural con el aire ambiente. En todos los demás sistemas de malteado la malta verde está depositada, hasta una altura de 1,50 m, sobre chapas perforadas. Para airear la cebada que respira intensivamente, debe ser presionado mucho aire a través del producto en germinación, para que los procesos vitales progresen intensivamente. Esta gran cantidad de aire es

300 a 700 m^3 de aire por t de cebada (como malta verde) y hora.

Se requieren en todos los casos para ello ventiladores muy potentes, de tipo radial o axial (ver Sección 10.5.2) (Figura 2.48).

Debido a la respiración de la cebada, se produce calor, que debe ser evacuado. Se puede calcular que el calor generado durante la totalidad del tiempo de germinación es aproximadamente

850000 kJ = 200000 kcal/t de cebada.

Dado que además el aire de ventilación debe ser aproximadamente 2 °C más frío que el producto en germinación, se debe enfriar durante la mayor parte del año. Para ello se utilizan mayormente evaporadores directos (ver Sección 10.3.4), por medio de los cuales se ajusta la corriente de aire automáticamente a la temperatura deseada. Sin embargo, debe tenerse también en cuenta que es necesario calentar el aire si las temperaturas exteriores bajan demasiado en invierno.

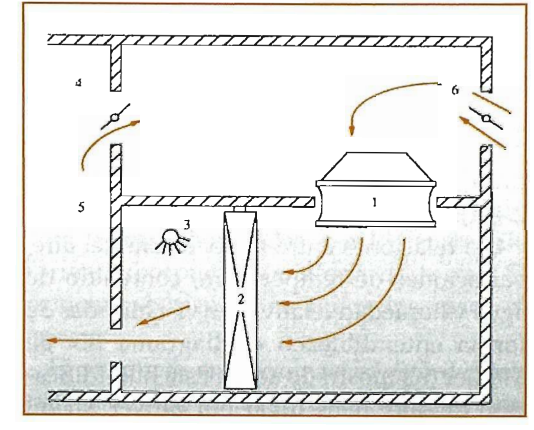


Figura 2.48
Acondicionamiento del aire
(1) ventilador axial, (2) evaporador directo, (3) pulverizador, (4) válvula tipo flap de aire de retorno, (5) producto en germinación, (6) aire fresco

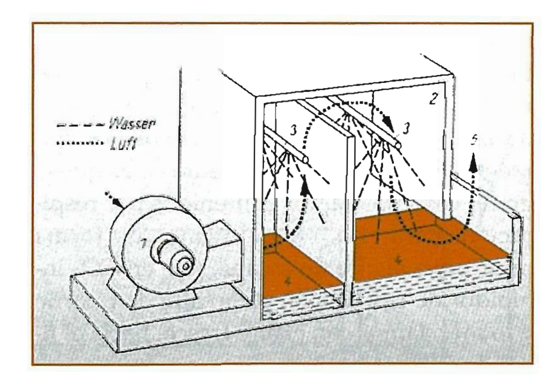


Figura 2.48a
Equipo humidificador
(1) ventilador radial, (2) cámara de humidificación, (3) tubos de agua con toberas, (4) foso colector de agua, (5) aire frío humidificado

El producto en germinación debe tener un contenido de agua de aproximadamente 45 %, durante todo el tiempo de germinación. Si se pasa el aire seco a través de la malta verde, ésta se deseca. Por eso, el aire debe ser saturado permanentemente con agua (Figura 2.48a).

Las relaciones entre temperatura del aire, variaciones de temperatura, contenido de agua y humedad relativa son visualizadas de forma entendible en el diagrama h,x de Mollier (no mostrado aquí). Esta humidificación del aire tiene lugar por pulverización extremadamente fina del agua (3). Pero para que el agua no precipite prematuramente, se la pulveriza lo más justo posible antes de que el aire ingrese en la malta verde. El requerimiento es aproximadamente 0,5 m^3 de agua por t de cebada.

El agua en exceso puede ser pulverizada nuevamente, luego de la limpieza. A los efectos de poder suministrarle agua adicional a la malta verde también en la sala de germinación, en algunos sistemas se encuentran colocadas toberas de rociado en los volteadores o por encima de éstos.

La cebada respira muy intensamente durante la germinación y consume así, por respiración, contenidos valiosos del grano. Pero hacia el final de la germinación estamos más interesados en los procesos enzimáticos de modificación en el grano germinante, que se desarrollan independientemente de la respiración. Entonces ya no queremos más que el grano consuma tantos contenidos por respiración. Para ello, reconducimos de forma progresiva el aire de escape, rico en CO_2 inhibidor de respiración como aire de retorno y lo mezclamos con el aire fresco, hacia el final de la germinación.

Este aire frío y húmedo es conducido en todos los sistemas de malteado a través del producto en germinación. El objetivo del volteo del producto en germinación en cualquier sistema de malteado es evitar que los embriones se junten al crecer y alcanzar continuamente el contacto con aire frío y húmedo a una parte diferente del producto en germinación.

2.4.2.2.2 Malteado en tambores

En el tambor de germinación, el producto en germinación se encuentra en un tambor cerrado de chapa de acero, en el cual es aireado. El volteo tiene lugar por rotación del tambor.

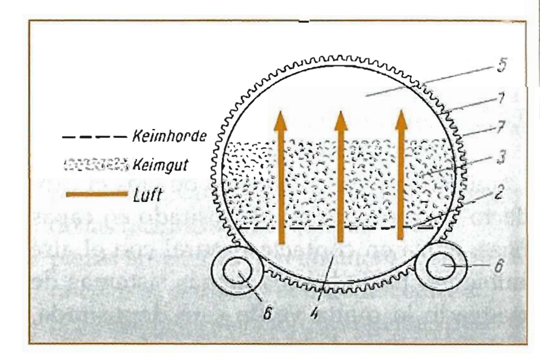


Figura 2.49
Tambor tipo cajón
(1) cilindro de chapa de acero, (2) batea, (3) producto en germinación, (4) aire humedecido, (5) aire usado, de escape, (6) rodillos portantes, (7) corona de accionamiento (engranaje de tornillo sinfín)

El tambor tipo cajón (Figura 2.49) consiste de un cilindro de chapa de acero (1) de 2 a 4 m de diámetro y una longitud de 3 a 15 m. En la parte inferior del tambor se encuentra una batea (2) colocada horizontalmente, sobre la cual está depositado el producto en germinación (3).

El aire humidificado es soplado desde abajo (4), a través del producto en germinación, y abandona el tambor a través de un tamiz en el lado frontal (5). Para el volteo, el tambor es girado lentamente. De acuerdo con el tamaño del tambor, una vuelta dura de 0,5 a 1 hora. Para ello, el tambor está apo-

ya lo sobre rodillos portantes (6). El accionamiento es realizado por medio de una corona dentada (7), la cual es movida por un engranaje de tornillo sinfín. A los efectos de evitar pérdidas de aire, los canales de aire están sellados adecuadamente contra el tambor en rotación.

El tambor es llenado aproximadamente en un 70% y girado lentamente en intervalos definidos (en total, aproximadamente 1/10 del tiempo de germinación). Para impedir que el producto en germinación se encuentre inclinado y, de esa manera, no uniformemente repartido sobre la chapa, se avanza primero un poco con el giro, retrocediendo posteriormente.

La ventaja del tambor es el tratamiento muy cuidadoso del producto en germinación. Pero el sistema no trabaja muy económicamente con hasta 20 t por tambor, razón por la cual ya quedan muy pocas plantas en operación.

2.4.2.2.3 Malteado en cajas

El malteado en cajas es hoy en día el sistema de malteado más usual, que existe en diferentes tamaños y variantes.

Muchas cajas de germinación se construyen de forma rectangular, para órdenes de magnitud entre 5 y más de 300 t de cebada. Desde hace algunos años, estas cajas se construyen también de forma circular (malteado circular) para hasta 300 t de cebada, estando aquí las cajas ordenadas, por lo general, de forma superpuesta (maltería de torre). El principio básico es en todos los casos el mismo:

El producto en germinación está depositado sobre una de las bandejas durante todo el tiempo de germinación y es volteado por el volteador helicoidal de manera tal, que continuamente una parte diferente del producto en germinación entra en contacto con el aire más frío y más húmedo, el cual fluye desde abajo, atravesando el producto en germinación.

2.4.2.2.3.1 Unidades de germinación rectangulares

Las unidades de germinación rectangulares están hechas de muros de ladrillos o de hormigón armado (caja de germinación "Sistema Saladín"). Los extremos de la caja están acanalados de forma curvada, para el

2

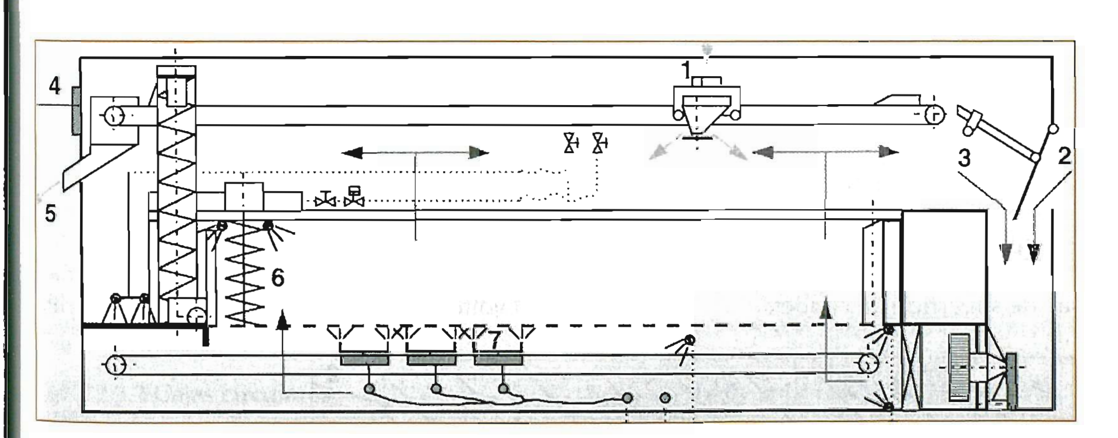


Figura 2.50: Caja de germinación "Sistema Saladín"
(1) alimentación de producto remojado, (2) entrada de aire fresco, (3) aire de circulación, (4) aire de escape, (5) malta verde al tostadero, (6) volteador, (7) dispositivo mecánico de rociado

movimiento sin residuos por parte de los volteadores helicoidales. Por lo general, según la duración de la germinación, hay en la sala de germinación hasta seis cajas de germinación, ubicadas una junto a la otra. La sala de germinación está aislada térmicamente y dispone de paredes y techos lisos. En la sala de germinación hay una leve sobrepresión, que debe ser mantenida. Para esto, la sala dispone de puertas esclusa herméticas, que deben ser mantenidas cerradas de forma permanente (Figura 2.50).

Las bateas están colocadas a aproximadamente 60 cm sobre el piso de la caja. El producto en germinación está depositado sobre éstas y es escurrido húmedo con una altura de 0,5 a 0,9 m -con agua de escurrido-, creciendo durante la germinación a una altura de 0,8 a 1,3 m.

Las bandejas son

- chapas portantes ranuradas con un área libre del 20% (Figura 2.50a), o
- bandejas de criba ranurada con un área libre del 40%.

Las bandejas pueden ser levantadas para inspección y limpieza, en el caso de que el espacio debajo no sea transitable.

En unidades más grandes hay un equipo de aspiración debajo de las bandejas. Debajo de la bandeja se encuentran

- el conducto de suministro de aire para la entrada o la salida del aire de ventilación, y
- las toberas de limpieza a alta presión, para la limpieza de las bateas y del espacio debajo de las bandejas (ver Figura 2.50, 7).

Se calcula con 300 a 500 kg de cebada por m² de superficie de bandeja.

Los volteadores están diseñados siempre como volteadores de tornillo sinfín o helicoidales (Figura 2.51 y 2.51a). Una larga viga de volteadores (1) soporta hasta 20 tornillos sinfín (2), que rotan en sentidos opuestos, aflojando así el producto en germinación. Un accionamiento causa la rotación de los tornillos sinfín, que se mueven lentamente a aproximadamente 8 rpm, y un segundo accionamiento asegura el avance del carro volteador, a través del montón, a una velocidad de 0,4 a 0,6 m/min. Este volteo ocurre dos veces por día en los primeros días de germinación y en los últimos días de germinación ya sólo una vez por día.

Los tornillos sinfín llevan colocadas varillas niveladoras (3), que se mueven con los tornillos y que se encargan de mantener la superficie con una altura lo más uniforme posible, para que el aire atraviese todo el lecho de forma uniforme. El carro volteador está equipado con toberas rociadoras, que posibilitan un abastecimiento adicional de agua a la malta verde, durante la germinación.

La carga y descarga de la caja es una función importante, que debe ser realizada con el menor gasto posible de tiempo y energía. En instalaciones más antiguas, probaron ser aptos para ello los carros de extracción desplazables, que transportan el producto en germinación, como palas mecánicas, al canalón colector, desde donde aquél es recogido.

En instalaciones modernas, el volteador realiza también, en combinación con un rastrillo acoplado, las tareas del elemento de transporte para la transferencia del montón y la distribución. En instalaciones pequeñas, el volteador mueve el montón con el rastrillo

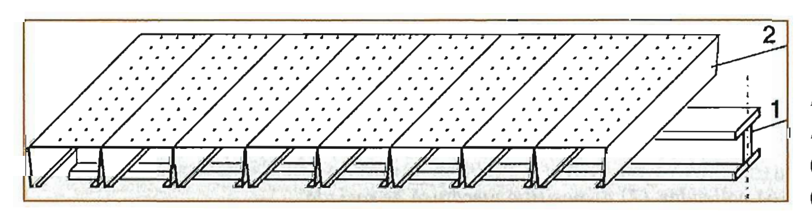


Figura 2.50a
Batea con perfil en C
(1) soporte doble T
(2) perfil en C

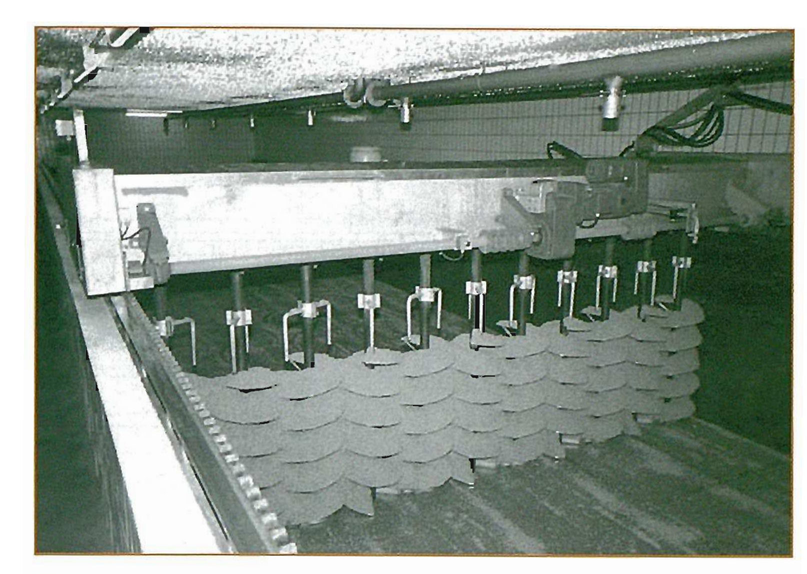


Figura 2.51
Volteador helicoidal
(Foto: Seeger GmbH,
Plüderhausen)

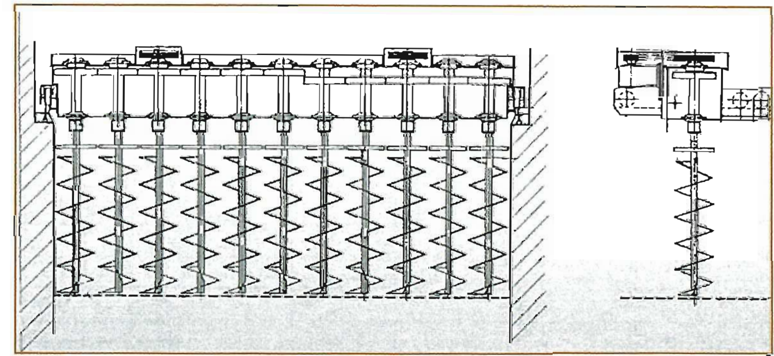


Figura 2.51a
Volteador helicoidal (vista esquemática)

hacia el canalón abierto, en etapas. Para ello, se mueven los tornillos sinfín a una posición determinada, en la cual bloquean el pasaje, permitiendo así vaciar la caja, la cual es limpiada por rascadores, como si fuera a escoba. Debe estar excluido el trabajo manual.

En grandes instalaciones se trabaja con transportadores acoplables, que vacían de forma permanente.

2.4.2.2.3.2 Cajas circulares

Las cajas circulares se construyen básicamente según el mismo principio que las rectangulares y poseen también los mismos elementos; debido a su estructura son sinfín.

Básicamente, se diferencian aquí:

- cajas circulares, en las que rota la bandeja, estando fija la viga de volteadores. Aquí la bandeja rotatoria se encuentra apoyada sobre rodillos y está sellada contra el muro que la rodea. En este tipo, los embriones raspados caen siempre en el mismo lugar, debajo del volteador,
- cajas circulares, en las que la bandeja está fija, moviéndose la viga de volteadores alrededor de un eje central robusto (Figura 2.52).

Se utilizan ambos tipos. Por lo general, las cajas están superpuestas, en forma de torre.

De acuerdo con el tiempo de permanencia en caja, hoy en día usual de cinco días, la mayoría

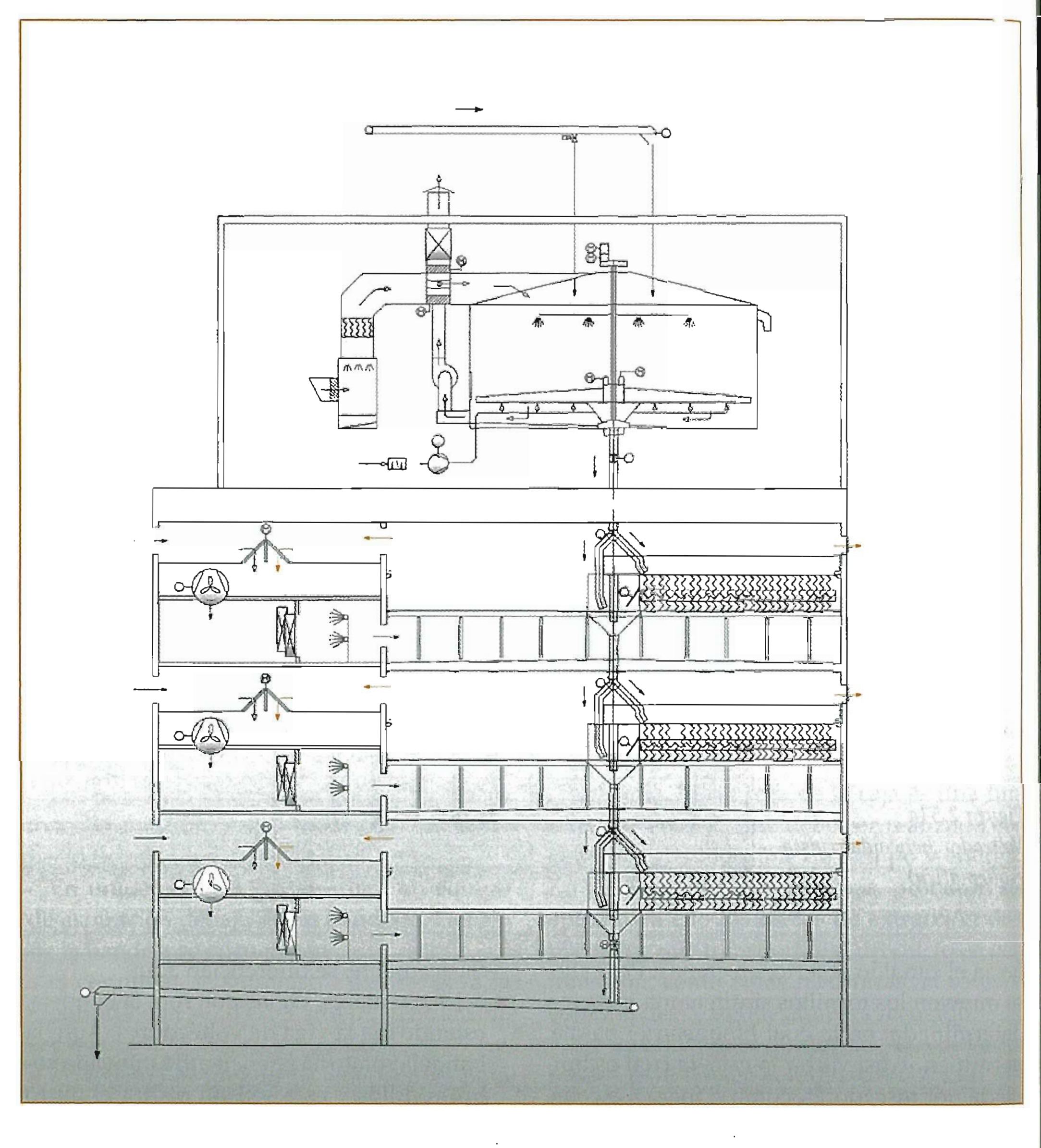


Figura 2.52 Maltería de torre

de las malterías está equipada con cinco lugares de germinación, que se encuentran superpuestos o ubicados uno junto al otro. De esta manera, es posible una secuencia operativa sin problemas, si también las secciones intercaladas adelante y atrás están sincronizadas con el mismo ritmo. Pero también son posibles otros tiempos de germinación; el ajuste ocurre a través de la regulación de temperatura.

Dado que, en igual unidad de tiempo, la viga de volteadores cubre en la parte de afuera un área notablemente mayor que en la parte de adentro, los tornillos sinfín externos deberán girar más rápidamente que los internos, de

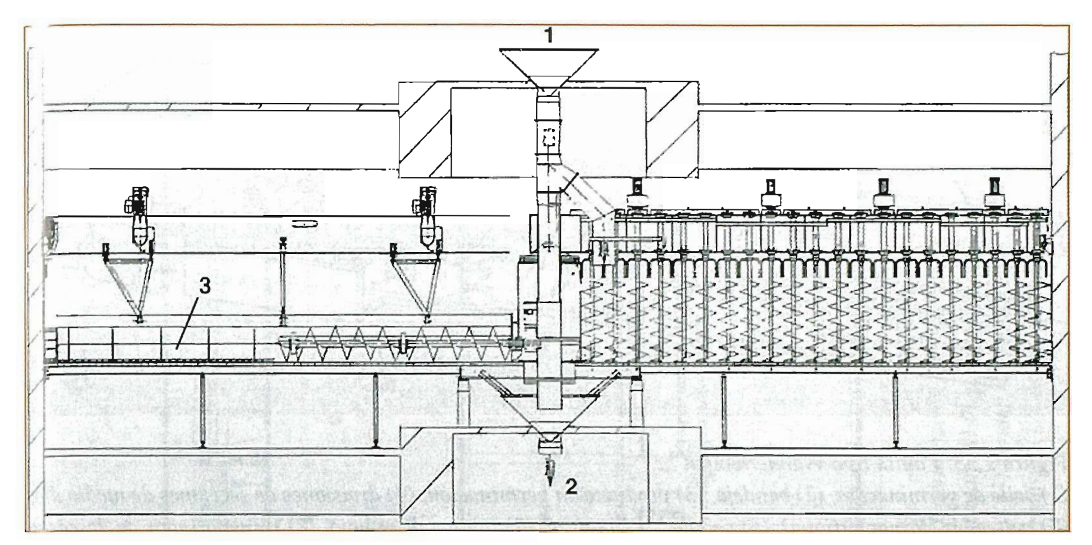


Figura 2.52a Volteador helicoidal con cargador y descargador
(1) alimentación de producto remojado, (2) descarga de malta verde, (3) tornillo sinfín de carga y descarga; puede ser levantado o bajado

forma correspondiente con las mayores cantidades de malta que procesan. Los transportadores por tornillos sinfín horizontales, colocados generalmente detrás de la viga de volteadores, se construyen variables en altura, para la carga y descarga. Por medio de una posición definida, se logra un cierre plano, el cual posibilita que la bandeja sea vaciada sin que queden residuos (Figura 2.52 a + b).

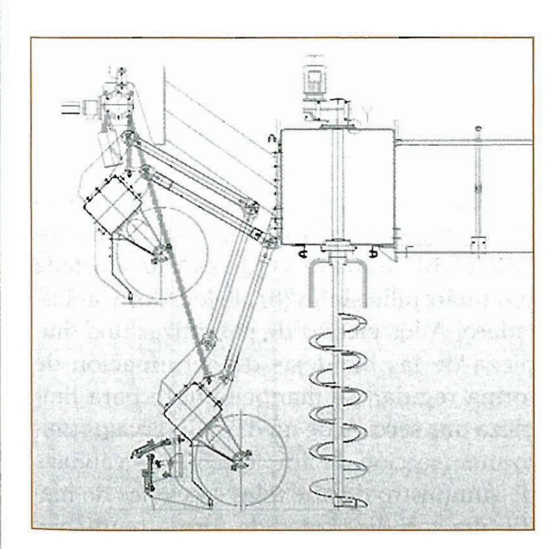


Figura 2.52b
Volteador helicoidal con cargador y descargador (vista lateral)

2.4.2.2.4 Sistemas con desplazamiento diario

En el malteado en cajas, la malta verde es volteada siempre en el lugar en que se encuentra. Pero también se puede utilizar el volteo para lograr un desplazamiento de la malta verde desde el remojo, en dirección al tostadero. En ese caso, el producto en germinación se desplaza, una o dos veces por día, un paso hacia el tostadero. De ahí el nombre para el más antiguo de estos sistemas, que ya era utilizado a veces en la era: el sistema de montón en movimiento (sistema Wanderhaufen).

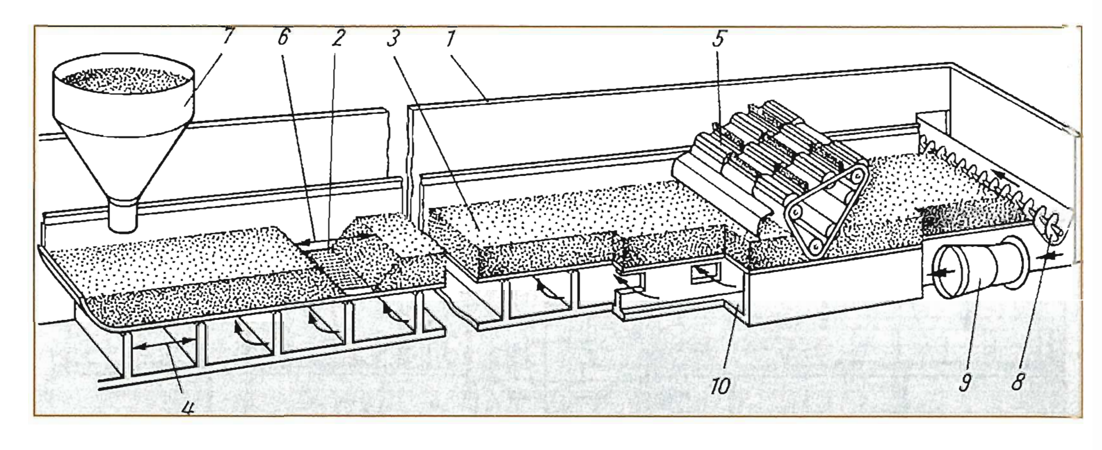


Figura 2.53: Planta tipo Wanderhaufen
(1) calle de germinación, (2) bandeja, (3) producto en germinación, (4) divisiones de secciones de medio día, (5) volteador (forma antigua), (6) sección de limpieza, (7) tanque de remojo, (8) transportador de descarga por tornillo sinfín, (9) ventilador, (10) canal de aireación

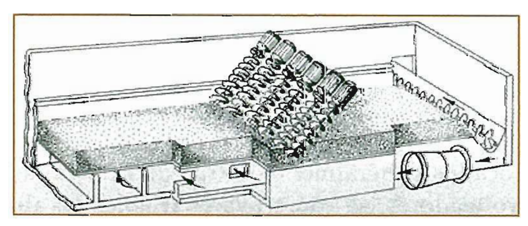


Figura 2.54
Volteador helicoidal (forma nueva)

Malteado por montón en movimiento (tipo Wanderhaufen)

La planta de montón en movimiento (Figura 2.53) consiste de una gran caja de germinación, de 50 a 60 m de longitud y 3 a 4 m de ancho, la calle de germinación. Esta calle de germinación está dispuesta en principio como una caja normal de germinación, pero está subdividida, debajo de las bandejas de germinación (2), en 16 secciones de medio día (4). El volteador (5) se construía en las primeras plantas, tal como se muestra en la figura, con cangilones tipo pala y rascadores de goma. Las instalaciones más nuevas trabajan con tornillos sinfín inclinados (Figura 2.54).

El producto en germinación es escurrido sobre la primera sección de medio día, desde el tanque de remojo (7), ubicado directamente encima de la caja. Dos veces por día, el montón es movido hacia adelante una sección de medio día, de manera que el montón se mueve en 24 hs una sección diaria. El volteador, que trata la malta verde con extremo cuidado, es movido para ello dos veces por día desde el fin de la calle (es decir, desde el viejo montón) al principio de la calle (al montón escurrido) con una velocidad de 20 a 30 cm/min. Tan pronto como el volteador ha revuelto todos los montones, es elevado y retornado a mayor velocidad.

Al finalizar la germinación, la malta verde es depositada por el volteador en un canalón de hormigón, en el extremo final de la caja. Desde ahí, la malta verde es transportada por un tornillo sinfín (8) al elevador y al tostadero. A los efectos de garantizar una limpieza de las bandejas de germinación de forma regular, se mantiene libre para limpieza una sección de un día, a intervalos uniformes (sección de limpieza 6). Las válvulas de suministro de aire a las secciones de medio día son diseñadas de forma regulable, para poder abastecer el producto en germinación con diferentes cantidades de aire, según la necesidad.

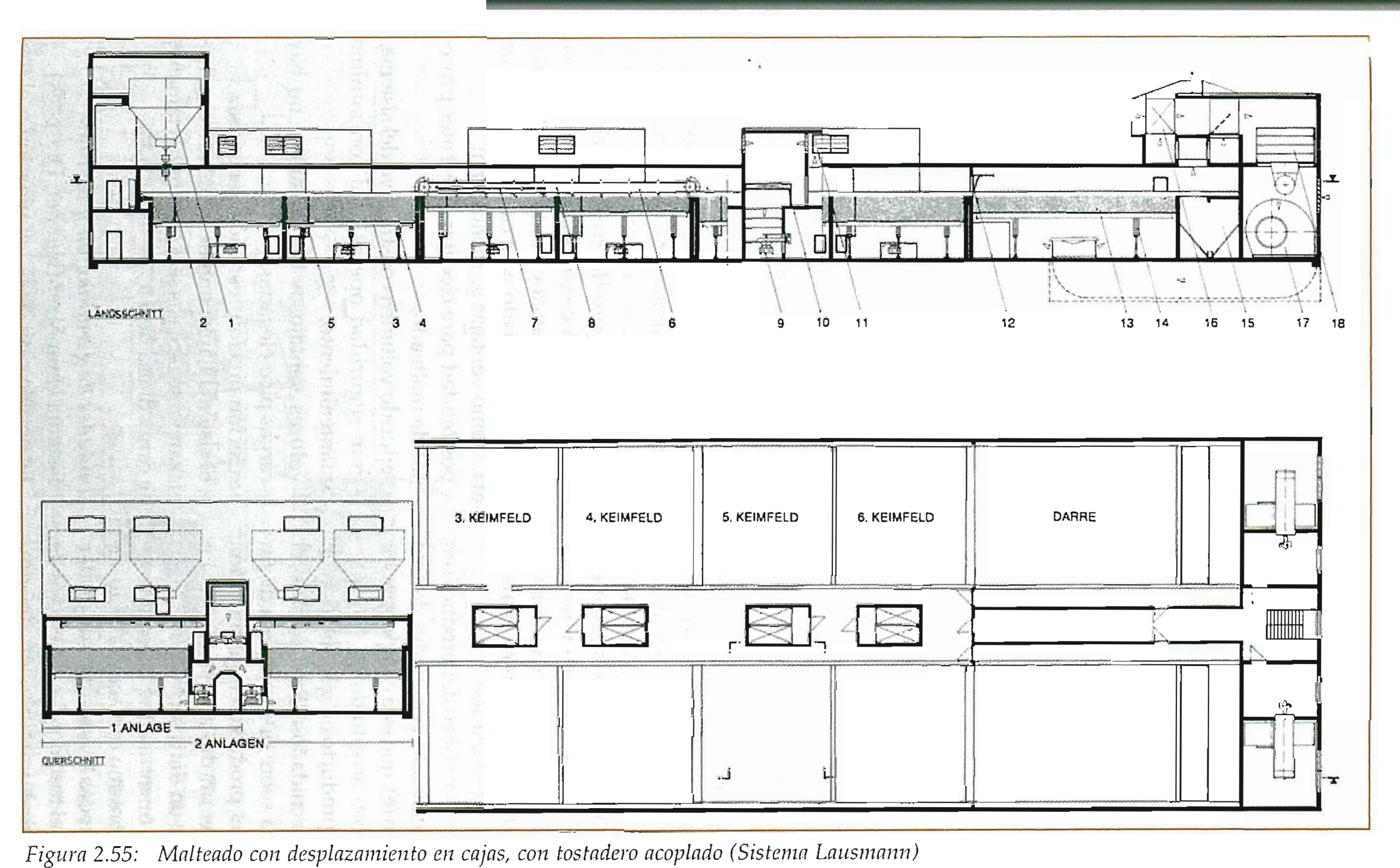


Figura 2.55: Malteado con desplazamiento en cajas, con tostadero acoplado (Sistema Lausmann)

(1) tanque de remojo, (2) tornillo sinfín distribuidor del producto en germinación, (3) bandeja de germinación, (4) husillo elevador de caja de germinación, (5) columna de medición de temperatura, (6) carro de volteo, (7) dispositivo humidificador, (8) dispositivo de rociado, (9) ventilador de caja de germinación, (10) registro de enfriamiento, (11) válvula de aire, (12) portón de tostadero, (13) bandeja de tostado, (14) dispositivo elevador de bandeja de tostado, (15) recipiente de malta tostada, (16) intercambiador de calor por tubos de vidrio, (17) ventilador de tostado, (18) calentador de aire

Las plantas del tipo Wanderhaufen ya no se construyen más.

Malteado con desplazamiento en cajas, con tostadero acoplado

Sistema Lausmann, Regensburg

En el malteado con desplazamiento en cajas, con tostadero acoplado, Sistema Lausmann (Figura 2.55), el producto en germinación avanza por transporte diariamente una sección de un día y es tostado en el tostadero ubicado posteriormente.

En el tanque de remojo (1) intercalado aguas arriba, la cebada es remojada de forma ya conocida por nosotros y es escurrida seca, a través de una unidad de escurrimiento (2), en la primera sección de un día. La cebada se encuentra aquí sobre una bandeja movible (3), la cual puede ser subida y bajada por cuatro dispositivos elevadores (4), que trabajan de forma sincronizada.

Cada sección de un día es abastecida con la cantidad necesaria de aire frío, por una ventilación separada de sección de un día, de acuerdo con el desarrollo de la germinación (9, 10, 11). La medición de temperatura, necesaria para ello, del producto en germinación y del aire, es realizada a través de columnas de medición (5), que están colocadas en el medio de cada sección de germinación.

El desplazamiento y volteo del producto en germinación es realizado por medio de una máquina de volteo (6), que está compuesta por una cinta sinfín con arrastradores, transportando con ello el producto en germinación en capas y de manera cuidadosa. Para el volteo, el volteador se ubica sobre dos secciones de un día y transporta el producto en germinación de una sección de un día a la siguiente. En esto, la sección de un día a ser volteada es subida lentamente, mientras que la sección vecina baja en sincronismo con aquélla. Esto sucede a diario con todas las secciones de un día, comenzando por el tostadero. A los efectos de posibilitar una poshumidificación del producto en germinación, se encuentra instalado en la máquina de volteo un dispositivo humidificador (7), que provee humidificación superficial para incrementar hasta un 5 % el contenido de agua en el producto en germinación. Un dispositivo rociador (8) posibilita un aumento del contenido de agua en 1 a 1,5%.

La primera y segunda sección de germinación están dispuestas de la misma forma que las otras cuatro secciones, pero la figura muestra aquí la sección transversal a través de la planta.

El tostadero acoplado está separado de la sala de germinación por el portón de tostadero (12). Para cargar el tostadero con el mismo volteador, se abre el portón de tostadero y se lo cierra luego nuevamente, por motivos de tecnología térmica. La carga del tostadero (13) dura aproximadamente 45 minutos, el vaciado en el canalón (15) aproximadamente 20 minutos. El tostadero dispone de potentes ventiladores radiales (17) regulados por frecuencia, que aspiran aire fresco, respectivamente de circulación, a través de un registro calefactor (18) y lo presionan a través del producto en tostación.

Toda la planta es controlada de forma totalmente automática y posibilita así un tratamiento diferenciado para cada sección de un día. Como ventajas se mencionan:

- posibilidad para ejecutar diferentes procesos de malteado,
- reducido volumen constructivo del sistema,
- gran seguridad operacional con mínimo mantenimiento,
- valores ventajosos de consumo, no hay cargas pico elevadas,
- relación precio/prestación ventajosa.

El sistema Lausmann de malteado con desplazamiento en cajas se construye en tamaños de carga diaria de 5 a 75 t de cebada.

Unidades de germinación y tostado

Sistema Unimälzer (Hauner, Diespeck)

Es posible realizar la germinación y el tos-

tado en un recipiente (malteado estático). Naturalmente, el recipiente debe estar equipado para este fin con los dispositivos técnicos de aireación para la germinación, así como también para el proceso de tostado, incluyendo la calefacción. Tales unidades se construyen hoy en día también de forma circular.

Las ventajas en esto son:

- se evitan los transportes de malta verde y consecuentemente los deterioros,
- se ahorra energía, dado que no son necesarios los transportes, y
- se ahorra tiempo y lugar, dado que todos los procesos ocurren en una misma ubicación.

Son problemáticas las elevadas diferencias de temperatura, que ocurren entre germinación y curado y que causan tensiones en el edificio. En el sistema Unmälzer (®) (Figura 2.55a) se contrarresta esto utilizando una cubierta segmentada de acero, sobre la cual se coloca exteriormente un aislamiento térmico. La cubierta de acero se dilata al calentarse, de manera que no aparecen tensiones. El material de aislamiento, formado por matas de lana mineral, se encuentra entre la pared de acero inoxidable y un revestimiento de chapa con ondas trapezoidales resistente a las inclemencias climáticas.

Se utilizan bandejas rotatorias con una densidad de carga de hasta 600 kg de cebada por m^2. El accionamiento de la bandeja, con una velocidad de 0,4 a 0,5 m/min, es realizado por dos a cuatro motorreductores, que están fijados a la pared de acero inoxidable y que posibilitan un ciclo de aproximadamente dos horas.

A los efectos de lograr un volteo uniforme, los volteadores helicoidales fijos, con un número impar de husillos, rotan con velocidad creciente hacia afuera -como en todos los volteadores helicoidales-, debido a la diferente velocidad tangencial. Dado que en el sistema Unimälzer todos los procesos tienen lugar en un recipiente, cada caja puede ser variada mucho en cuanto al desarrollo de temperatura y aireación, no estando insertada en un esquema rígido.

Los hasta ocho recipientes están ubicados alrededor de una planta central de tostado, aireación y calefacción y están equipados con un equipo propio de aire de germinación.

Malteado Uni-Cont

Sistema Hauner, Diespeck

Un tipo de malteado interesante desde el punto de vista termotécnico, pero que sola-

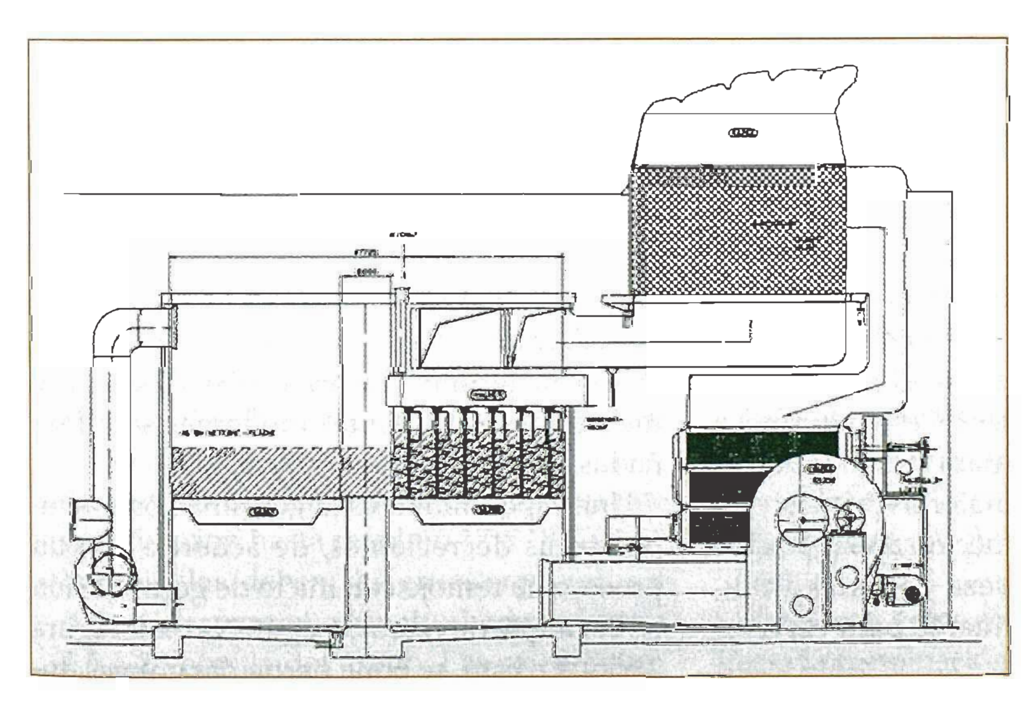


Figura 2.55a
Sistema Unimälzer en corte: recipiente, instalación de aire de germinación e instalación de tostado
(Sistema Hauner)

2

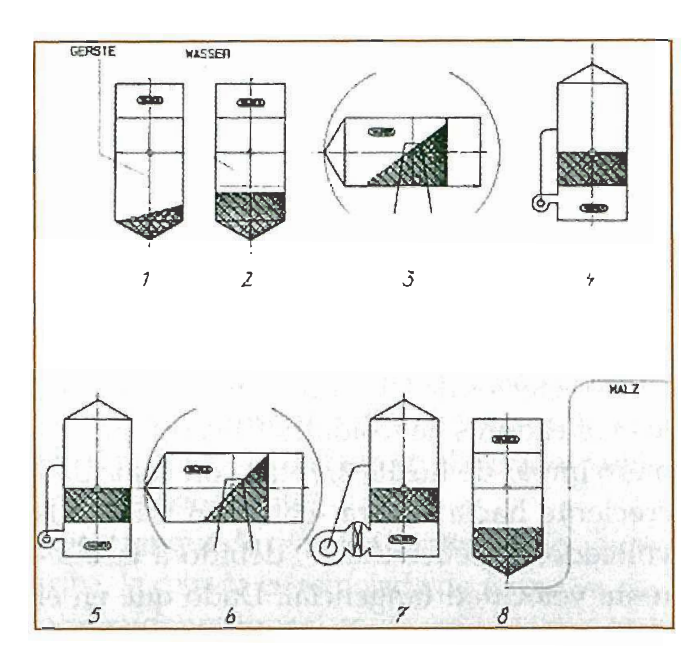


Figura 2.55b: Malteado Uni-Cont (Sistema Hauner)
(1) llenado, (2) remojo, (3) volteo, (4) remojo seco
(5) germinación, (6) volteo, (7) tostado
(8) extracción de la malta

mente puede ser tenido en cuenta para cantidades pequeñas, es el malteado Uni-Cont, según Hauner. En éste, todos los procesos son realizados en un recipiente giratorio (Figura 2.55b).

La cebada es remojada en el recipiente de hasta 3,5 m de altura (2), siendo utilizada en esto para la distribución uniforme del agua (3) y se la remoja en seco, según un programa predeterminado (4), siendo evacuado CO_2 y substituido por aire fresco. La germinación y el volteo ocurren de la misma forma (5+6). Para el tostado (7), se realiza la conexión para el suministro de aire caliente controlado. Para la extracción de la malta (9), se invierte el recipiente, de manera que el cono quede abajo y se lo vacía a través de este último. La instalación se construye para tamaños del orden de 3,8 t de carga de materias primas; esto corresponde a una producción anual posible de 130 t = 7600 hl de cerveza y alcanza así dimensiones que son de interés para cervecerías de restaurante.

2.4.2.3 Realización de la germinación

Independientemente del sistema de malteado, se deben mantener los mismos o casi los mismos parámetros para la realización de la germinación.

El escurrido es realizado con agua en los sistemas de malteado operados neumáticamente. La cebada escurrida es distribuida de manera uniformemente alta por los sistemas de volteo, a los efectos de posibilitar un caudal uniforme de aire. La altura el producto escurrido depende de la planta y en sistemas modernos es 1,20-1,30 m; la malta verde crece entonces hasta una altura de 1,80 a 1,90 m. La temperatura del producto remojado depende de la temperatura del agua y es de 12 a 14°C. Es ahora necesario iniciar prontamente la germinación. Para ello, se sopla aire fresco a través del producto remojado y el volteador se mantiene por de pronto en operación. En los días susbsiguientes el producto en germinación es volteado dos veces por día, todos los días. Diariamente se rocía agua una vez por día, a los efectos de mantener un contenido de agua del orden del 45 %.

La temperatura aumenta en los días subsiguientes a un máximo de 17-18°C y el calor generado por respiración debe ser evacuado por una mayor capacidad de ventilación, para evitar un calentamiento adicional. Se reduce al mismo tiempo, a partir del tercer día de germinación, la porción de aire fresco, primeramente a la mitad y en los días subsiguientes hasta en un 80 %, agregándose cada vez más aire de retorno que contiene CO_2, para restringir cada vez más la respiración.

La germinación dura cinco a seis días. Hoy en día, la germinación es terminada en cinco días; por eso las plantas modernas son diseñadas con cinco cajas.

Una especialidad es la germinación a temperaturas decrecientes, de acuerdo con un proceso de remojo con inicio de germinación en el tanque de remojo, según Narziß (Figura 2.55c). En esto, se pone particular énfasis du-

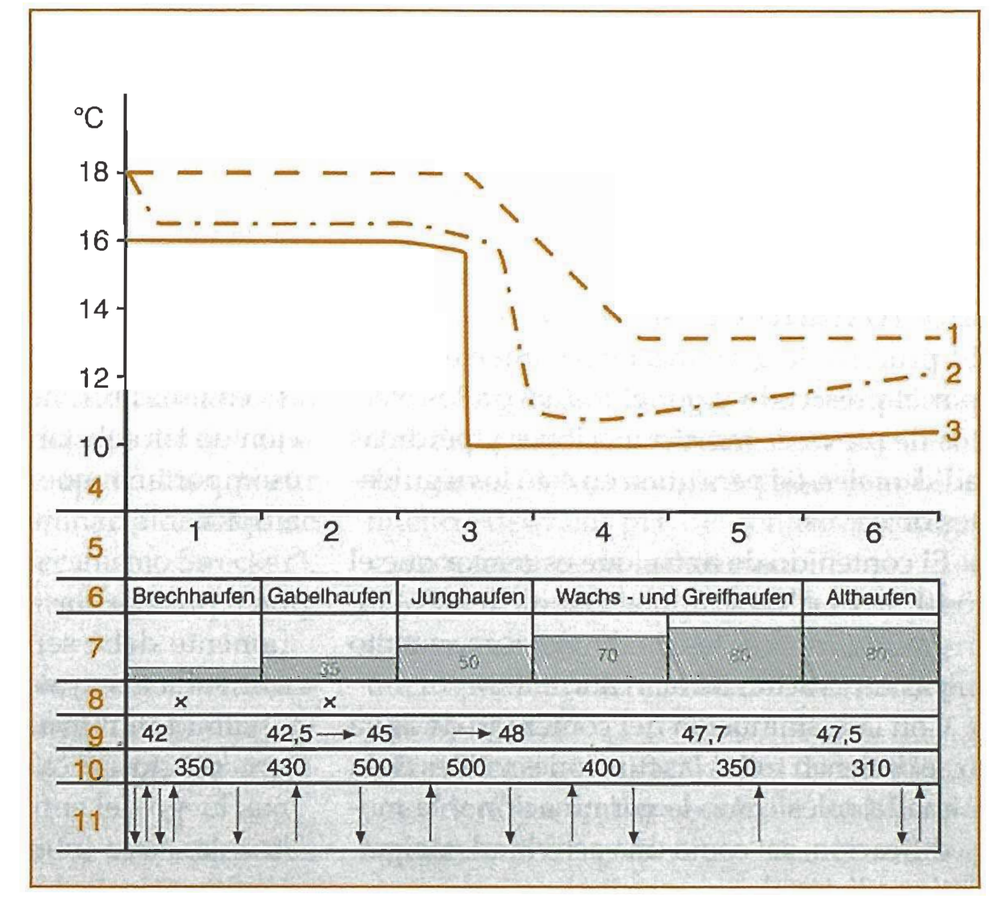


Figura 2.55c
Proceso de germinación con temperaturas decrecientes (según Narziß)

(1) temperatura en el producto en germinación - arriba; (2) temperatura en el producto en germinación - abajo; (3) temperatura del aire entrante; (4) temperatura en °C; (5) días de germinación; (6) denominación alemana para estados del montón; (7) porción de aire de retorno; (8) rociado; (9) contenido de agua del producto en germinación; (10) potencia de ventilador por m³ t y h; (11) volteo

rante la germinación en la primera fase vital activa y, a partir del tercer día de germinación, se reduce la respiración por medio de un enfriamiento leve.

2.4.2.4 Control de la germinación

Concluyendo esta sección de germinación resumimos nuevamente los factores que debemos controlar en la germinación. Para ello, partimos de los siguientes principios básicos:

Para la fabricación de malta tipo Pilsner, debemos evitar todos los factores que conduzcan a una mayor degradación de substancias y con ello a la formación de más azúcar y aminoácidos, así como también a más DMS y DMS-P (ver al respecto Sección 2.5.1.4). Esto incluye:

- un incremento lento de la temperatura de germinación hasta máximo 17 a 18°C,
- las raicillas deben ser gruesas y cortas y deben alcanzar una longitud equivalente a 1,5 a 2 veces la del grano. Las raicillas largas reducen la calidad,
- las acrospiras deben tener una longitud uniforme de 2/3 a 3/4 de la longitud de grano. Son indeseados los húsares,
- en la transferencia de montón, el contenido
- de agua debe ser aproximadamente un 1%
- menor que en el escurrido,
- el olor debe ser fresco y similar a pepinos, no debe ser ácido, viciado o mohoso.

Para la fabricación de malta oscura preferimos una mayor degradación de substancias, porque en el tostado requerimos los azúcares y aminoácidos formados para la producción de colorantes. Para ello se requiere en la germinación:

- que la temperatura de germinación aumente a valores de hasta 25°C,
- raicillas más largas,
- acrospiras de 3/4 a longitud entera de grano.

Junto con estos controles empíricos, se registra la germinación en las plantas modernas

por supuesto permanentemente de forma muy precisa, a través de termómetros y otros instrumentos de control, que regulan el flujo de aire, la temperatura, la porción de aire de retorno y la operación de los volteadores, a través de una regulación automática.

2.5 Tostado de la malta

El proceso de germinación es interrumpido por el presecado y por el tostado, a los efectos de prevenir transformaciones y pérdidas adicionales. Se persiguen en esto los siguientes objetivos:

- El contenido de agua, que es mayor que el 40 %, es disminuido a menos del 5%, logrando así resistencia de almacenamiento y conservación de la malta.
- Con la disminución del contenido de agua se detienen todas las funciones vitales en la malta, tales como la germinación y la modificación, así como una actividad enzimática adicional.
- Sin embargo, el potencial enzimático formado debe mantenerse en su totalidad.
- Debe prestarse mucha atención en este proceso a la formación o la evitación de substancias colorantes y aromáticas, según el tipo de cerveza para la cual deberá ser procesada la malta.
- Las raicillas son quebradas por golpe y eliminadas.

2.5.1 Cambios durante el tostado

De acuerdo con este objetivo, se discuten a continuación:

- disminución del contenido de agua,
- interrupción de la germinación y la modificación, y
- formación de substancias colorantes y aromáticas.

2.5.1.1 Disminución del contenido de agua

Para que la malta sea almacenable, se debe disminuir su contenido de agua, que es mayor que el 40%, al 4 a 5%. La remoción del agua es realizada de manera tal que se pasa una gran cantidad de aire caliente a través de la malta verde.

Debe tenerse en cuenta en el calentamiento de la malta verde durante el tostado que todas las enzimas son más susceptibles de ser eliminadas por calor húmedo, en tanto que son más resistentes al calor seco. Dado que las enzimas son necesarias para la degradación de las substancias en la sala de cocción, es importante que sean protegidas de forma amplia.

Para proteger las enzimas, la malta primeramente debe ser presecada, antes de ser sometida a un calentamiento fuerte.
El almidón húmedo de la malta verde engruda bajo un calentamiento fuerte y forma, luego del enfriado, una malta ya inutilizable, cuyo interior es de aspecto vítreo (malta vítrea).
La temperatura recién puede ser incrementada a más de 50°C cuando el contenido de agua haya disminuido al 10 a 12%.

La lenta reducción del contenido de agua a temperaturas de 40 a 50°C se llama presecado. Los tiempos prolongados de presecado a bajas temperaturas tienen efectos positivos sobre la estabilidad del sabor de la cerveza.

2.5.1.2 Interrupción de la germinación y de la modificación

La germinación es finalizada por la remoción del agua. Con ello se impide que las raicillas sigan creciendo. Muchos embriones mueren por el efecto del calor durante el tostado, de manera que la malta ya casi no vive ni respira. Junto con la germinación, también se finaliza la modificación. Ya no ocurren procesos de degradación ulteriores, de manera que la malta puede ser considerada estable.

2.5.1.3 Formación de substancias colorantes y aromáticas (Reacción Maillard)

A temperaturas por encima de 90°C y con tiempos prolongados de acción, los aminoácidos se unen progresivamente con azúcares, formando compuestos rojimarrones, de aroma intenso, las melanoidinas.

Aparte de ello, tienen lugar reacciones de compuestos dicarbonilos y aminoácidos. En esto, se forma un aldehído a partir del aminoácido. Estos aldehídos, formados a partir de aminoácidos, se denominan aldehídos de Strecker, y el proceso, "mecanismo Strecker". Los aldehídos de Strecker son de aroma muy intenso.

La totalidad de estos compuestos estructurados de forma muy complicada y diferenciada está reunida bajo el concepto de "reacción Maillard".

Las reacciones Maillard y sus productos no pueden ser diferenciados sin un enorme esfuerzo analítico. Por otro lado, sabemos hoy que esos productos son los predecesores de substancias que causan, junto con otras, el sabor negativo de envejecimiento en la cerveza envasada. Por eso, debe tenerse una medida para saber en qué magnitud esas reacciones ya han tenido lugar. Dado que se desarrollan tanto más intensivamente cuanto mayor es la temperatura y cuanto más tiempo ésta tiene efecto, se habla también de la "carga térmica" de la malta o posteriormente del mosto o de la cerveza. La totalidad de la formación de estas substancias está reunida en el coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ).

Cuanto más alto es el TBZ, tanto mayor es la carga térmica de la malta, del mosto o de la cerveza. La carga térmica es una pauta importante para fijar el valor de la estabilidad de sabor de la cerveza.

Dado que los productos Maillard son substancias colorantes y aromáticas, hay interés en formar muchas de estas substancias en la malta oscura y en evitar la formación de productos Maillard en la malta pálida.

Los productos Maillard se forman a temperaturas mayores, a partir de azúcares y aminoácidos.

Si se desea evitar la formación de estas substancias, se debe impedir (ampliamente) o al menos restringir la formación de sus productos de partida.

La temperatura cumple una función especial, dado que las transformaciones se inician de forma lenta, modificándose bajo la influencia del valor pH, del contenido de agua y otros factores de influencia.

Existe una serie de posibilidades y medidas para lograr un bajo contenido de productos Maillard en el malteado. Están incluidas aquí [183]:

- la utilización de variedades de cebada con tendencia a un bajo grado de modificación proteica,
- un bajo grado de remojo,
- la reducción de oxígeno a partir del tercer día de germinación,
- mantener el grado de modificación proteica por debajo de 41%,
- el presecado con temperaturas iniciales de 35-50°C,
- en el curado, preferiblemente mantener temperaturas mayores por tiempo breve (ver Sección 2.5.1.5).

El TBZ en la malta (medido en el mosto de laboratorio) debe ser <14.

Existe una correlación entre el producto de TBZ y grado de modificación proteica y el sabor de envejecimiento esperable en la cerveza clara.

En la fabricación de malta oscura, las substancias de partida formadas en la fase de presecado cumplen, junto con la temperatura de curado, una función decisiva para la reacción Maillard.

Con un presecado a mayor temperatura y mayor humedad, se pueden fabricar cervezas con un aroma a malta más agradable e in-

tenso. Los aldehídos de Strecker formados aquí son, al contrario de lo que sucede en la malta pálida, positivos para el sabor [186]. Dado que después del almacenamiento de la malta oscura se producen cambios en el perfil aromático, ésta debería ser almacenada por dos a tres meses antes de su procesamiento. De esta manera se obtienen cervezas de mucho aroma a malta, con una elevada estabilidad de sabor.

En caso de necesidad, también pueden ser utilizados los polifenoles localizados sobre todo en la cáscara, para una reacción de color. En esto, las proantocianidinas cumplen una función que representa una preetapa incolora de las antocianidinas. En el calentamiento en solución ácida, se liberan nuevamente unidades flavano terminales como carbocationes, que luego son oxidados a antocianidinas rojas, por el oxígeno en el aire. Con ello, se pueden producir las tonalidades rojas, que son necesarias para la fabricación de cervezas con tono rojizo.

2.5.1.4 Formación de preetapa de DMS y de DMS libre en el tostado

El sulfuro de dimetilo (DMS) es un compuesto que puede transmitir en la cerveza un sabor y un olor indeseados a verduras o hierbas. Dado que la formación de DMS comienza ya durante el malteado, es necesario conocer las vías de su formación.

Hay tres vías para la formación de DMS:

- un predecesor inactivo del DMS, la S-metilmetionina (SMM), es formado durante la fase de germinación, es inestable al calor y es disociado por calentamiento en una preetapa activa (DMS-Precursor = DMS-P) y en DMS libre.

La preetapa activa -el DMS-P- se descompone al ser calentada en DMS volátil. Es por ello necesario, para eliminar este DMS, disociar el DMS-P por calentamiento prolongado e intensivo (tostado, cocimiento de mosto) y remover, en lo posible completamente, el DMS volátil que se forma.

El DMS-P no transformado puede ser absorbido posteriormente por la levadura y transformado en DMS libre.

Bajo las condiciones del proceso de tostado se puede transformar también una pequeña parte de la S-metilmetionina (SMM) en sulfóxido de dimetilo (DMSO) poco volátil. Este DMSO puede ser reducido posteriormente por la levadura (o también por organismos de contaminación) a DMS. Sin embargo, la cantidad de DMSO y su influencia son pequeñas y no necesitan ser tenidas en cuenta en nuestras consideraciones.

Es por eso que a continuación se deberá diferenciar únicamente entre la preetapa, el DSM-P, y el DSM libre. Mientras haya DMS-P, éste podrá ser transformado en DMS libre y expulsado como tal.

La influencia de la cebada y del malteado sobre el contenido de DMS-P es muy grande [181].

- La variedad de cebada tiene una gran influencia sobre el contenido de DMS-P. Así, por ejemplo, la variedad Alexis muestra un bajo contenido de DMS-P. Las variedades de cebada de invierno, por el contrario, siempre se encuentran aproximadamente 2 ppm por encima de las cebadas de verano.
- El lugar de cultivo tiene una influencia notable, al igual que el año de cosecha y el clima.
- En la Sección 2.4.1.3.5 ya se aludió a la influencia de la humedad del producto en germinación: cuanto mayor es la humedad del producto en germinación, tanto más elevado es el contenido de DMS-P y también el TBZ. Una degradación más intensa de proteínas también libera más DMS-P. Temperaturas más elevadas del producto en germinación generan un mayor suministro de DMS-P.
- Una prolongación de la duración de ger-

minación produce un mayor incremento de DMS-P.

- Un aumento de la temperatura de presecado reduce el contenido de DMS, pero aumenta el TBZ.
- La temperatura de curado tiene una influencia muy grande sobre el contenido de DMS-P. Cuanto mayor es la temperatura de curado, tanto más DMS-P es transformado en DMS y expulsado como tal.

El contenido de DMS-P en las maltas pálidas es en promedio 400 μg/100 g (4 ppm) en la materia seca.

2.5.1.5 Influencia de la temperatura y del tiempo de tostado

La temperatura y su desarrollo temporal tienen una influencia decisiva sobre la calidad de la malta y de la cerveza. Aquí, son de particular importancia dos secciones: el presecado y el curado.

Influencia del presecado

El proceso de presecado influye sobre los factores que tienen efectos favorables sobre la estabilidad de sabor [214]:

las menores temperatura alrededor de los 50°C y tiempos prolongados de presecado a esas temperaturas tienen un efecto favorable sobre la estabilidad de sabor.

Influencia del curado

La temperaturas de curado en las maltas pálidas debería ser 80°C, como mínimo.

Para la estabilidad de sabor de la cerveza es de importancia sobresaliente que la carga térmica de la cebada se mantenga baja (TBZ máximo: 14) y que el contenido de DMS-P sea mantenido lo más bajo posible (debajo de 6 mg/l = 6 ppm).

Pero la carga térmica de la malta, expresada en el TBZ, aumenta proporcionalmente con una duración de acción y temperatura crecientes; por el contrario, el contenido de DMS-P disminuye progresivamente con la duración de acción, primeramente más rápido y atenuándose posteriormente más y más. La caída es tanto mayor cuanto más alta es la temperatura.

Con esto, las siguientes exigencias se enfrentan diametralmente

- mayores temperaturas para la transformación, en lo posible completa, del DMS-P, y
- menores temperaturas para una baja carga térmica de la malta.

Es por ello necesario buscar una solución que satisfaga ambas exigencias.

En la figura 2.55d [214] están anotados, y unidos por curvas, los valores para el desarrollo de la preetapa de DMS y del TBZ para 82°C y 84°C, en función de la duración del tostado. Si ahora se trata de alcanzar un contenido deseado de DMS-P de, por ejemplo, 5,7 ppm, entonces se requerirán para ello 5 horas de duración de curado en el punto de intersección con la curva de DMS-P de 82°C;

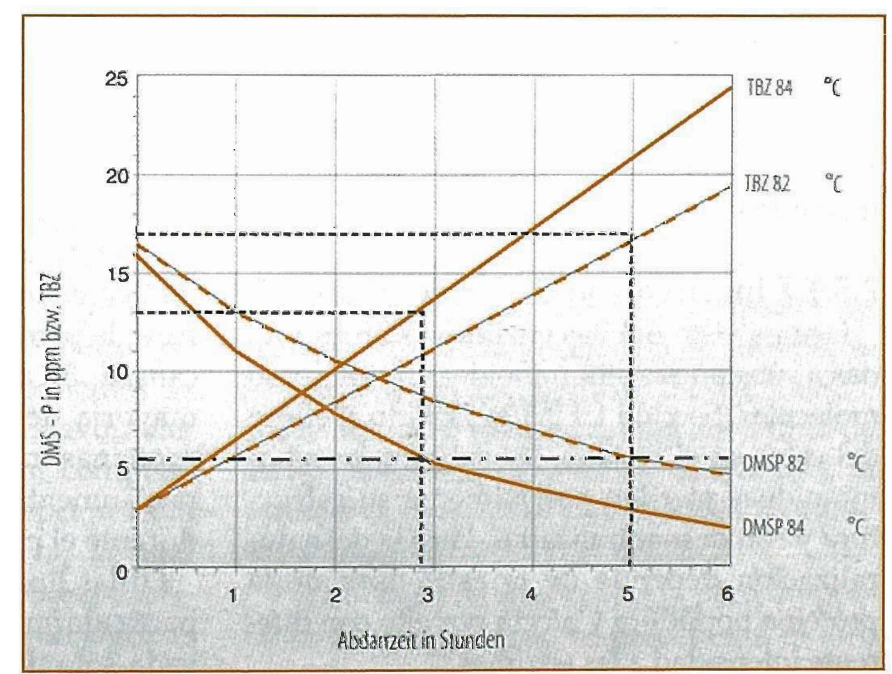


Figura 2.55d
Desarrollo de la preetapa de DMS y del TBZ, en función de la temperatura y del tiempo

es dable esperar en esto un valor correspondiente de TBZ de17.

Sin embargo, si se incrementa la temperatura de curado a 84°C, la curva de DMS-P intersecta el valor deseado de DMS-P de 5,7 ppm ya después de 2,8 horas; en este caso, el valor de TBZ se reduce a 13.

Ello conduce a que, con temperaturas más elevadas, pero con duraciones de curado más cortas y con menor carga térmica, se obtengan iguales valores de DMS-P, y

se obtenga la misma calidad con duraciones de curado de 2 a 3 horas a 85 °C que con las a veces todavía usuales 5 horas de duración de curado a 80°C.

2.5.1.6 Formación de nitrosaminas

Las nitrosaminas (nitrosodimetilamina = NDMA) son substancias carcinógenas, formadas a altas temperaturas a partir de aminas (aminoácidos) y óxidos de nitrógeno.

Dado que, desde la conversión de calentamiento directo a indirecto de los tostaderos, los gases de escape de la calefacción del tostadero, calientes y ricos en óxidos de nitrógeno (NOX), ya no son conducidos a través de la malta, hoy en día ya casi no se forman nitrosaminas. Como valor límite, es vigente hoy en día 2,5μg NDMA/kg de malta.

En la producción de malta secada al humo, se conduce humo a través de la malta, antes del tostado. Este humo otorga su gusto rasposo. Pero en este proceso no se forman nitrosaminas.

2.5.1.7 Inactivación de las enzimas

Hemos visto que las enzimas están asociadas a substancias albuminoideas de alto peso molecular (Sección 1.1.3.5.3). Debido al efecto del calor en el tostado, las substancias albuminoideas pierden parcialmente su estructura y son desnaturalizadas. Pero la desnaturalizacion depende de la estructura de la proteína portadora y afecta por ello con diferente intensidad a las enzimas.

En la primera fase del tostado, la actividad enzimática de las amilasas, en particular de la α-amilasa, se incrementa hasta una temperatura aproximada de 50°C, para luego disminuir. Al final del tostado, la α-amilasa muestra una actividad aproximadamente un 15% mayor que en la malta verde (Figura 2.56), en tanto que la β-amilasa, más sensible a la temperatura, así como también la dextrinasa límite son debilitadas en aproximadamente un 40 % frente a la actividad en la malta verde. Estos datos se refieren a la fabricación de malta pálida.

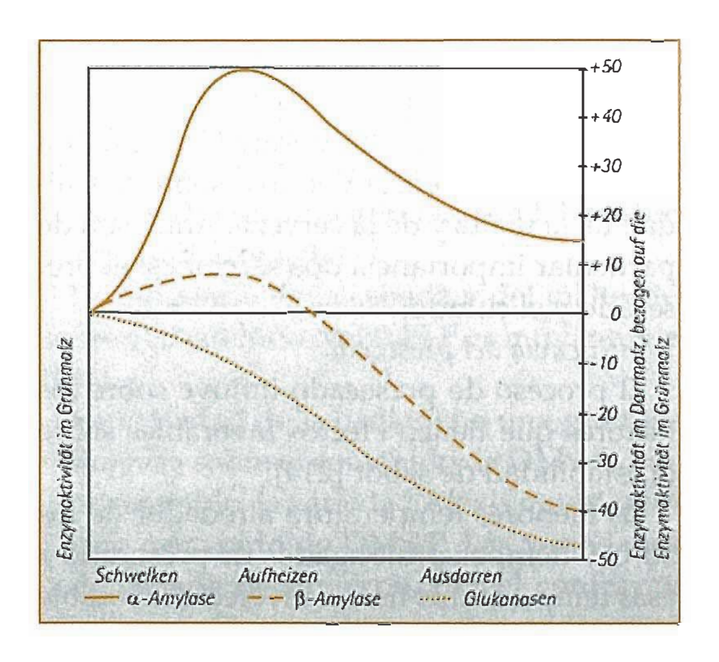


Figura 2.56
Inactivación de las enzimas durante el tostado

En las glucanasas, aún más sensibles a la temperatura, la pérdida de la actividad enzimática es aún mayor. En la endo-β-glucanasa, la pérdida es 20 a 40%, en la exo-β-glucanasa 50 a 70%. En contraste con esto, la mayoría de las enzimas degradadoras de proteínas, más resistentes a las temperaturas, aumentan su actividad en un 10 a 30%, durante el proceso de tostado.

En las lipasas sensibles a la temperatura, particularmente la lipooxigenasa es inactivada sólo de forma parcial, de manera que

en la malta existe todavía una actividad enzimática nada despreciable.

2.5.2 Construcción del tostadero

La palabra alemana "darren" (tostar) viene de "dörren, hacer seco", en otras palabras: secar. Para el secado se requiere calor, pero como la malta se encuentra dispuesta en capas gruesas, se necesita mucho aire caliente para secarla. De acuerdo con esto, el calentamiento y la aireación deben ser las funciones esenciales del tostadero.

Pero justo en lo que se refiere a la forma en que se envía el aire caliente a través de la malta verde y de como se trata de trabajar en ello lo más rentablemente posible, ha habido cambios decisivos en las últimas décadas.

En todos los cambios, sin embargo, se mantuvo el principio básico de la realización del tostado en dos etapas:

- en la primera fase tiene lugar el secado de la malta verde a temperaturas y contenidos de agua diferentes, de acuerdo con el tipo de malta a producir; esta fase es llamada fase de presecado,
- en la segunda fase se incrementa la temperatura hasta alcanzar la temperatura de curado, finalizándose este último a esa temperatura. Ésa es la llamada fase de curado.

Esta división en dos fases define también, por lo general, la construcción del tostadero.

2.5.2.1 Calefacción y ventilación del tostadero

Antaño, la calefacción del tostadero se realizaba casi exclusivamente con carbón. Los gases de combustión no pueden ser pasados directamente a través de la malta, dado que contienen una cantidad de componentes de mal olor que pueden afectar desfavorablemente la calidad de la malta por composición con nitrosaminas. Una excepción es la combustión de madera de haya, la cual otorga un sabor ahumado a la cerveza fabricada con aquélla que es deseado en algunas cervezas especiales (cerveza ahumada).

Es por ello que se guiaban los gases calientes a través de grandes tubos de metal (Figura 2.57, 11), a lo largo de los cuales pasaba el aire externo, calentándose de esta manera. Este tipo de calentamiento usual se llama calentamiento indirecto, porque el aire no entra en contacto con los gases calientes. Posteriormente, la calefacción por carbón fue substituida por la calefacción por aceite combustible o gas natural, pudiendo también con ello regularla notablemente mejor.

En lugar de los grandes tubos de gases calientes, se implementaron también en los tostaderos, por supuesto, los intercambiadores de calor por vapor o por agua caliente.

Debido a esta forma indirecta de calentamiento, los gases de combustión, ricos en óxido de nitrógeno (NOx), ya no pueden reaccionar con las substancias albuminoideas que se encuentran en la malta y, por ende, ya no pueden formar nitrosaminas.

Las calefacciones modernas de tostadero son operadas con energía primaria (gas natural o petróleo). En estos hogares, los gases de combustión calientes son desviados varias veces en los correspondientes tubos de un intercambiador de calor y calientan así el aire de tostado que fluye entre éstos. Los tubos del intercambiador son de acero inoxidable, para protegerlos del condensado (ácido). Por la condensación de los gases residuales al final del pasaje, se libera calor adicional y se logra un rendimiento óptimo.

Recuperación de calor en el tostado

Si no se logra reutilizar el aire de escape caliente dentro de la instalación de tostado, se lo pierde y, con ello, también mucha energía, sobre todo si se tiene en cuenta que el aire de escape tiene una temperatura de 45 a 50 °C al calentar del tostadero y de 80 a 85°C durante el curado.

Para al menos recuperar una parte importante de esa energía, se precalienta el aire

frío aspirado en un intercambiador de calor de tubos de vidrio.

Un intercambiador de tubos de vidrio está compuesto por cientos de pequeños tubos de vidrio colocados de forma horizontal, que están enmasillados entre las paredes del conducto de aire de escape (Figura 2.57a). El aire frío es aspirado a través de los tubos de vidrio y es calentado por el aire de escape caliente, que fluye de forma perpendicular a los tubos de vidrio. Por este motivo, estos intercambiadores de calor se denominan intercambiadores de calor de flujo cruzado.

Los tubos utilizados son de vidrio técnico, porque son notablemente más baratos que los tubos de acero y sobre todo porque no se corroen con los gases de escape agresivos, tal como sucede con los tubos de acero, y porque se dejan limpiar fácilmente.

El ahorro de energía por recuperación de calor es importante. En el calentamiento del aire adicional, listado a continuación, se puede calcular con el siguiente requerimiento de calor (media anual):

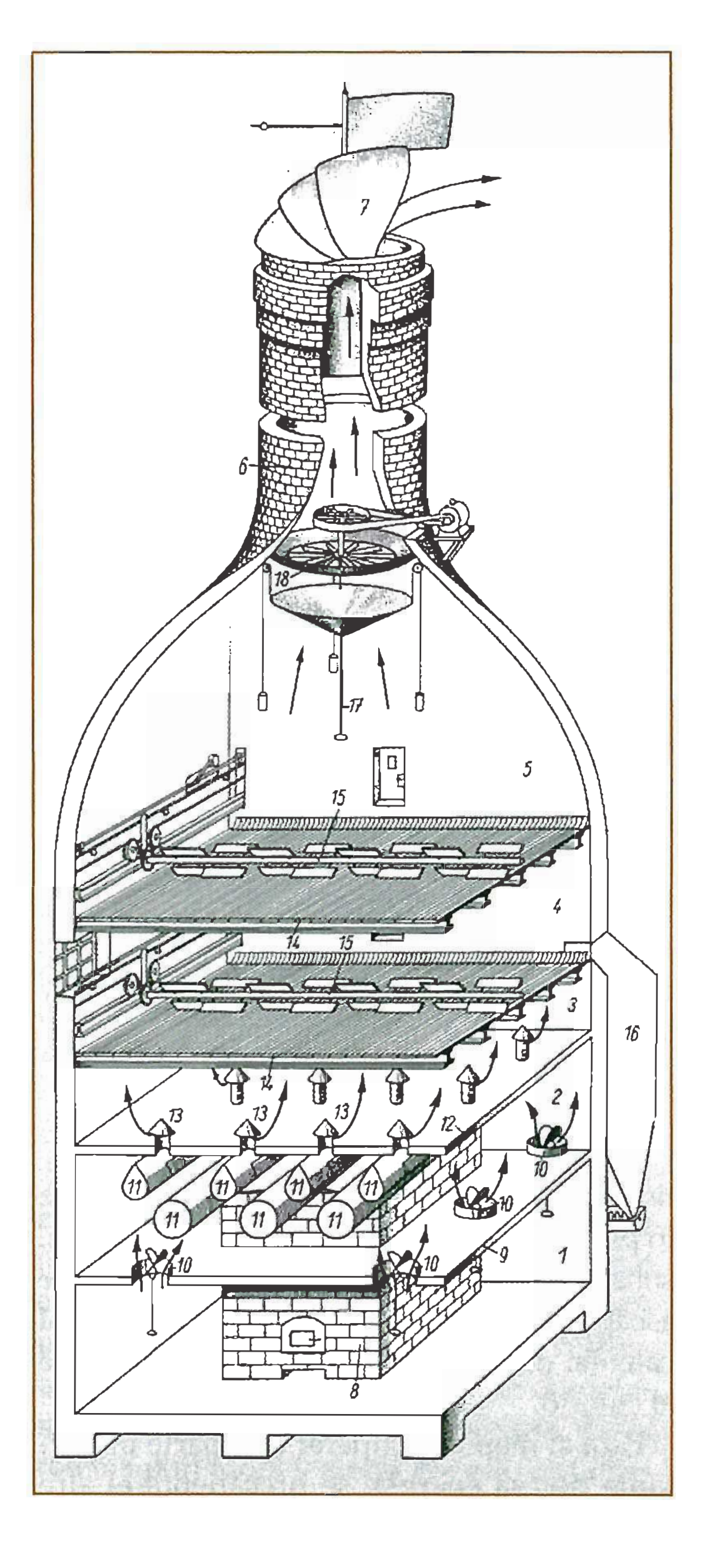


Figura 2.57
Tostadero de dos pisos (construcción antigua)
(1) espacio atizadero,
(2) cámara de calefacción,
(3) cámara colectora de raicillas secas,
(4) bandeja inferior,
(5) bandeja superior,
(6) chimenea de humos,
(7) chimenea de aire de escape con veleta típica,
(8) hogar de tostadero,
(9) piso intermedio,
(10) válvulas flap con cierre (humeros),
(11) tubos calefactores,
(12) piso intermedio,
(13) tubos de aire,
(14) batea,
(15) volteador,
(16) tolva,
(17) pantalla de condensado,
(18) ventilador

Ejemplo	Calentamiento del aire adicional de . . . a . . . °C			Requerimiento de calor en kWh/t de malta terminada	
	invierno	verano	media	sin intercambiador de calor	con intercambiador de calor
	-10°C	+25°C	+8°C		
presecado	18,0	25,0	21,6	837	618
calentamiento	28,5	41,0	37,6	159	83
curado	35,0	57,0	53,6	94	38
total				1091	740
Diferencia	= 351 kWh.				

Con esto, resultan en nuestro ejemplo ahorros de así y todo 32 %.

Es por esto que el intercambiador de calor por tubos de vidrio es parte integrante de toda maltería moderna, para ahorrar energía y, de esta manera, costos.

Los posibles ahorros del orden de 30 a 35% son mayores en invierno que en verano, debido a las menores temperaturas exteriores.

El pasaje de aire ocurría en los tostaderos de construcción antigua por medio de un enorme ventilador de techo (Figura 2.57, 18). Esto ya no es posible en los tostaderos modernos con alturas mayores de apilado (hasta 1,30 m). Hoy en día se utilizan ventiladores axiales o radiales, que transportan la cantidad necesaria de aire, por aspiración o por presión, a través de la capa de malta cada vez más permeable. La cantidad transportada se regula por medio de accionamientos controlados por frecuencia.

La cantidad de aire necesaria se reduce

de aproximadamente 4300 a 5000 m3 de aire por t de malta

y hora a aproximadamente un 50% de este valor

al lograr abrir la brecha a través del lecho de malta.

En algunos países se usan varios pequeños ventiladores, en lugar de uno solo de alta capacidad.

La carga específica en los tostaderos modernos de alta capacidad es de

350 a 500 kg de cebada como malta verde por m2 de área de bandeja.

Cuanto mayor es la carga específica, tanto más alta se encuentra la malta sobre la bandeja y tanto mayor deberá ser dimensionada la capacidad del ventilador.

Por eso, en algunos países con bajas tarifas de electricidad pueden tener sentido mayores cargas.

El requerimiento de calor para el tostado en tostaderos de un piso es mayor que en tostaderos de dos pisos, porque allí se puede reutilizar una gran parte de la energía dentro del tostadero. Utilizando un transmisor térmico (intercambiador de calor) se puede calcular, por cada 1 dt de malta terminada, con un requerimiento de calor de

	MJ	kWh	kWh en promedio
tostadero de un piso	250-300	70-83	75
tostadero de dos pisos	200-250	55-70	61

Sin transmisor térmico, estos valores se incrementan en aproximadamente un 35%.

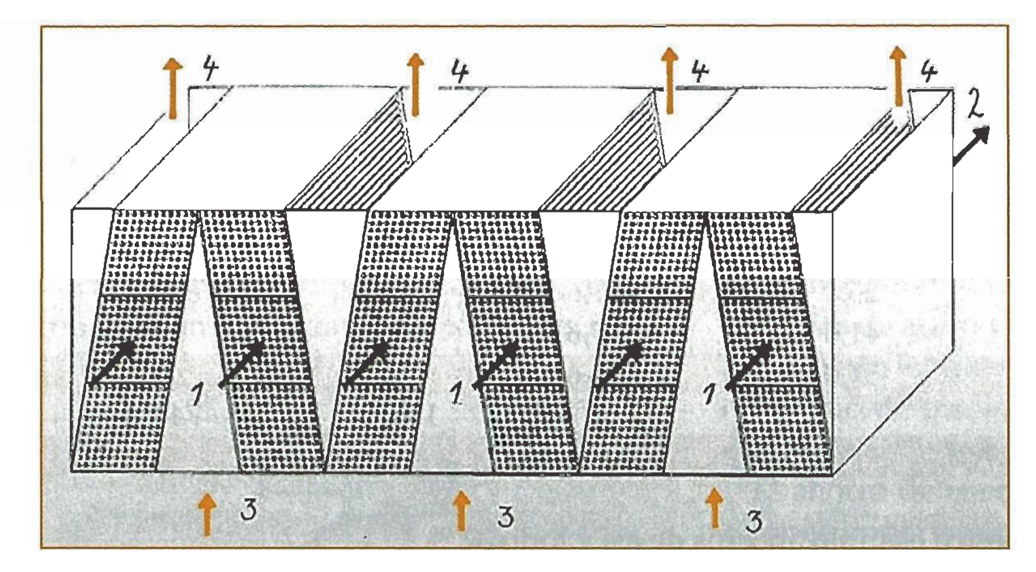


Figura 2.57a
Intercambiador de calor por flujo transversal
(1) aire fresco frío
(2) aire fresco calentado
(3) entrada de aire de escape caliente
(4) salida de aire de escape enfriado

Se puede lograr una mejora adicional del aprovechamiento de la energía primaria con la utilización de centrales de cogeneración, en las cuales se generan electricidad y calor (ver al respecto Sección 10.2.5).

2.5.2.2 Tostadero de dos pisos de construcción más antigua

Por lo general, se construían antaño los tostaderos como tostaderos de dos pisos, tal como se los puede encontrar aún a veces en malterías pequeñas y más antiguas. Se los reconoce ya desde lejos por la veleta de forma típica (ver al respecto la Figura 2.57; 7).

La malta verde está depositada en estos tostaderos sobre bandejas hechas de alambre redondo o perfilado y es atravesada por el aire caliente. Un volteador de palas con palas movibles se encarga del volteo de la malta. Aun así se requiere mucho trabajo manual en estos tostaderos: la malta verde debe ser esparcida sobre la bandeja superior. El transporte de la bandeja superior a la inferior es efectuado por apertura de válvulas tipo flap, pero la malta debe ser movida hacia la válvula y esparcida nuevamente sobre la bandeja inferior. Y también para la descarga del tostadero con la pala mecánica accionada a mano, el "burro", es necesario el trabajo manual. Como densidad de carga, se calcula con 65 a 80 kg de malta terminada por m2 de superficie de tostado. Esto es una pequeña cantidad para un gran esfuerzo.

Por eso, los viejos tostaderos de dos pisos fueron sustituidos por los tostaderos de alto rendimiento.

2.5.2.3 Tostaderos con bandeja volcable

Rara vez se ven todavía tostaderos equipados con una bandeja volcable. Por medio de un desarrollo de temperatura y una conducción del aire adecuados, el volteo se hace innecesario. Estos tostaderos no tienen ningún volteador. Para la descarga del tostadero, se vuelca el mismo, de manera que la malta se desliza hacia abajo.

El vuelco es realizado por un husillo que causa una rotación de la bandeja alrededor de su centro de gravedad. Los tostaderos de bandeja volcable más pequeños son volcados a menudo hacia un costado, en una sola pieza. Los más grandes son vaciados, por lo general, con dos piezas hacia el medio (Figura 2.58). Los tostaderos están equipados con dispositivos de carga de diferente construcción, de manera que ya no es necesario entrar al tostadero. El tostado tarda con tales tostaderos 18 a 20 h.

Hoy en día ya no se construyen tostaderos volcables de un piso.

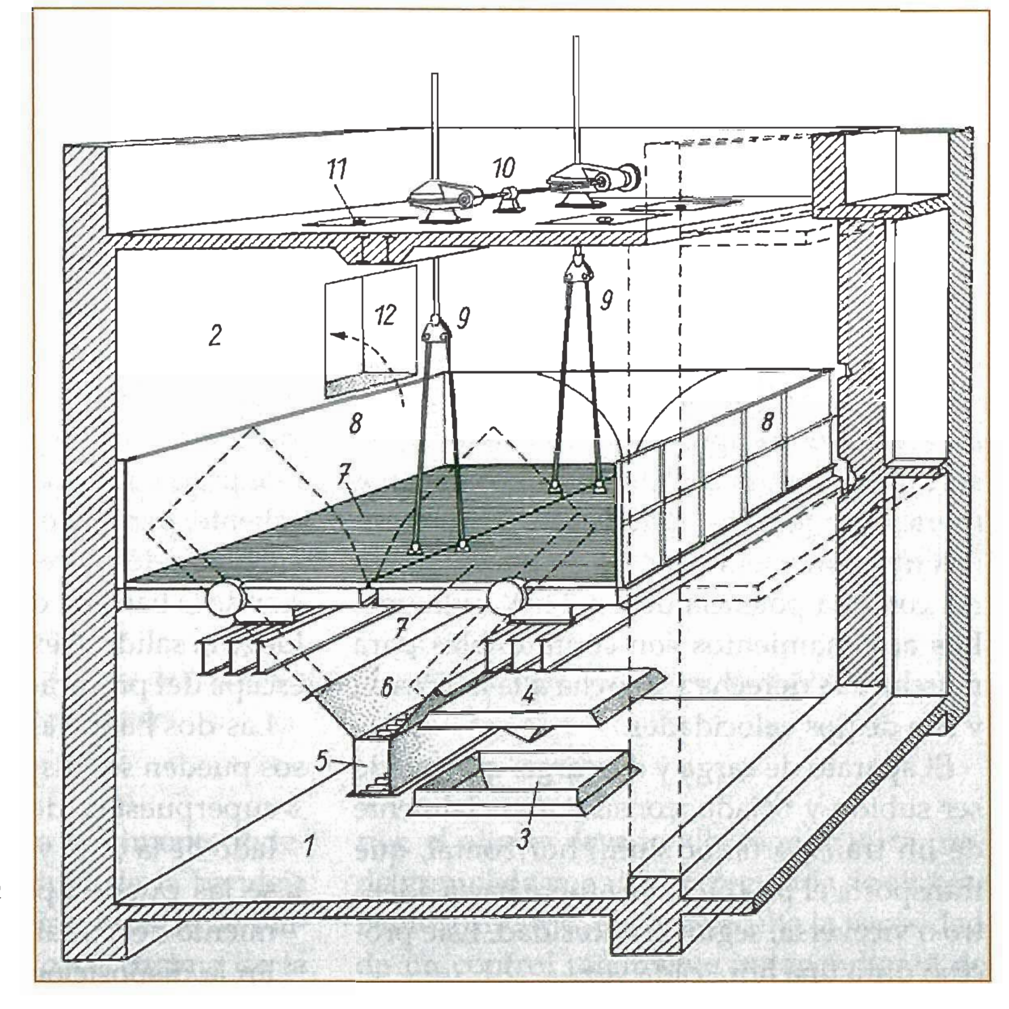


Figura 2.58
Tostadero volcable de un piso
(1) cámara de presión de aire caliente
(2) cámara de tostado
(3) salida de ventilador
(4) placa distribuidora
(5) transportador de cadena con cajones
(6) chapas directrices
(7) bandeja volcable
(8) pared lateral
(9) varillas de tracción
(10) engranaje de tornillo sinfín
(11) alimentación de malta verde
(12) aire de escape

2.5.2.4 Tostaderos de alto rendimiento con cargador y descargador

Los tostaderos de alto rendimiento se construyen, tal como las cajas de germinación, en dos variantes:

- bandeja fija con dispositivo rotativo de carga y descarga, o
- bandeja rotativa con dispositivo fijo de carga y descarga.

En estos tostaderos de alto rendimiento no se requiere un volteador.

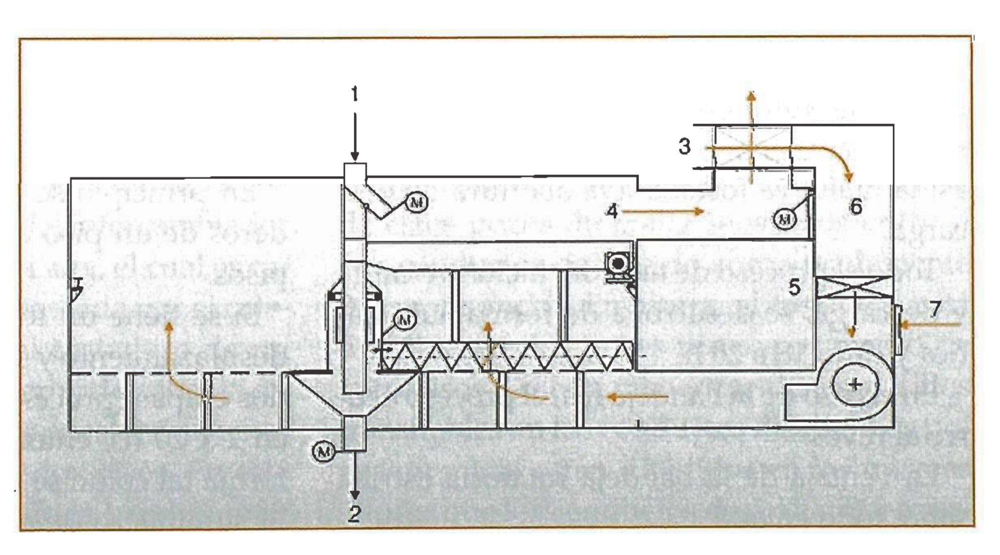


Figura 2.60
Tostadero de un piso con cargador y descargador (bandeja fija)
(1) alimentación de malta verde
(2) malta tostada
(3) aire fresco
(4) aire de escape
(5) calentador
(6) válvula de circulación
(7) aire de enfriamiento

2

Existen tostaderos modernos de construcción rectangular o circular, dispuestos como tostadero de un piso o de dos pisos (Figura 2.60). La forma constructiva circular se prefiere hoy en día cada vez más.

En el ejemplo se muestra un tostadero de alto rendimiento con una bandeja circular. El tostadero está equipado con un dispositivo de carga y descarga. Las bandejas hechas de chapa perforada o como cribas de barras, con un área libre de aproximadamente 30% (ver al respecto Figura 2.50a), están apoyadas por fuera sobre rodillos portantes y son impulsadas uniformemente por 3 a 6 motorreductores con una potencia de 1 a 2 kW cada uno. Los accionamientos son conmutables para marcha a la derecha y marcha a la izquierda y son de dos velocidades.

El aparato de carga y descarga, que puede ser subido y bajado, consiste esencialmente de un transportador sinfín horizontal, que transporta el producto de afuera hacia adentro o viceversa, según la necesidad. Este proceso dura una hora cada vez.

Para la carga, el aparato de carga y descarga es llevado a la posición que corresponde a la altura de capa prevista. En la bandeja rotatoria, el transporte y la carga de la bandeja son realizados de afuera hacia adentro, mientras gira la bandeja. El tostadero está completamente cargado después de aproximadamente una hora.

Una vez finalizado el proceso de tostado, el dispositivo de carga y descarga desciende de forma autónoma hasta la posición más baja, mientras la bandeja gira, y transporta así la malta ya tostada a la abertura de descarga.

Todo el proceso de tostado, inclusive carga y descarga, se desarrolla de forma automática y dura 18 a 20 h.

En el caso de la bandeja fija, el proceso ocurre al revés.

La ventaja de la bandeja rotatoria estriba sobre todo en que

- las raicillas de malta, quitadas por rozamiento del transportador sinfín, caen en un único lugar, pudiendo ser removidas allí, y
- la malta puede ser llevada a una abertura fija en la pared, al descargar el tostadero.

Los tostaderos de dos pisos consisten de dos bandejas que se encuentran superpuestas. Mientras se realiza el curado sobre una de las bandejas, la malta verde se encuentra en la otra bandeja en la fase de presecado. En este proceso se puede guiar el aire de escape caliente, pero seco, de la bandeja de curado, adicionándole aire fresco, hacia la parte inferior de la bandeja de presecado, permitiendo luego la salida al exterior del aire húmedo de escape del presecado.

Las dos bandejas del tostadero de dos pisos pueden ser dispuestas

- superpuestas, de forma vertical, o una al lado de la otra, y
- se las puede operar con o sin desplazamiento de la malta.

En la disposición con desplazamiento, los procesos de presecado y tostado se realizan sobre bandejas separadas. El desplazamiento puede suprimirse, si los procesos de presecado y de tostado tienen lugar sobre la misma bandeja. Pero para eso, los conductos de aire deben ser conmutados.

Ambas variantes tienen ventajas y desventajas. La ventaja de la conmutación de los conductos de aire se basa sobre todo en el mayor tiempo de secado, dado que se suprime el desplazamiento, que requiere aproximadamente dos horas.

En principio se pueden operar dos tostaderos de un piso como un tostadero de dos pisos.

Si se tiene un tostadero de dos pisos con desplazamiento y se desea operar con éste en dos etapas (proceso de presecado y curado) en 2 x 20 hs, entonces esto se desarrolla de forma tal como se muestra en la Figura 2.61: El suministro de aire para la bandeja supe-

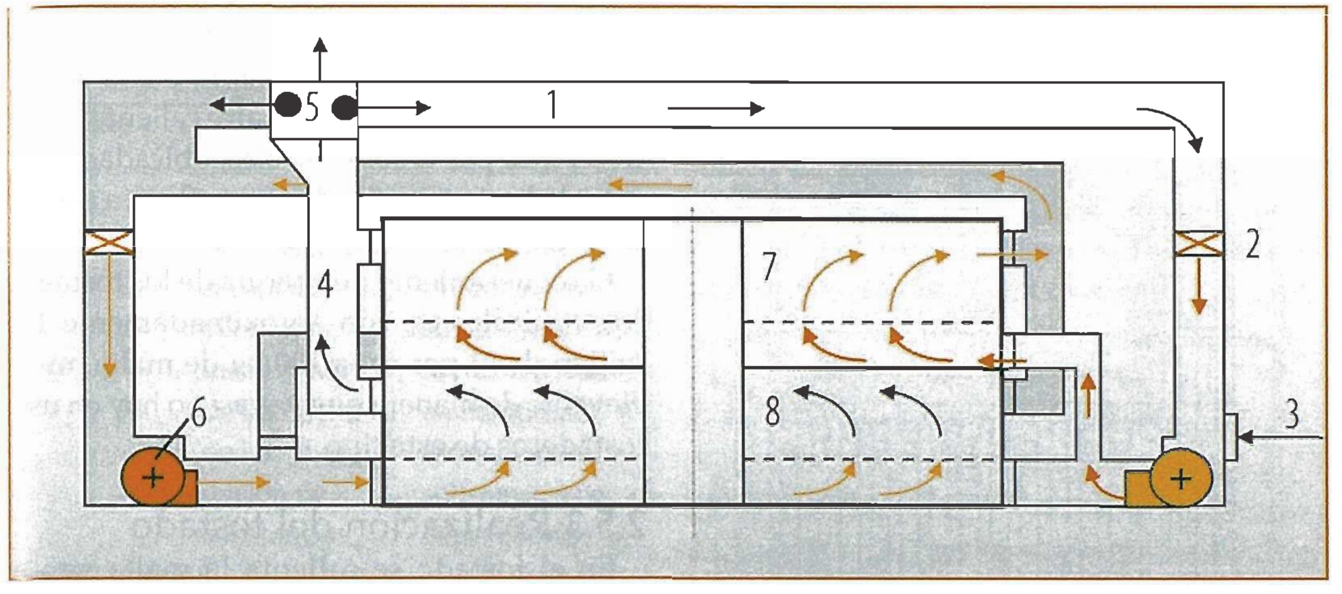


Figura 2.61
Tostadero circular de dos pisos
(1) aire fresco, (2) calefacción, (3) aire de enfriamiento, (4) aire de escape, (5) recuperación de calor, (6) ventilador, (7) tostado, (8) presecado

rior es regulado de forma totalmente independiente de la temperatura de la bandeja inferior. La cantidad de aire se mide de manera tal que el aire de escape encima de la bandeja superior esté permanentemente saturado de humedad a una temperatura de 25 a 30°C, en tanto que, independientemente de esto, la bandeja inferior puede ser llevada a la temperatura de curado.

La carga y descarga de las bandejas ocurre de la forma ya descripta. Para la descarga de la bandeja superior a la bandeja inferior, ambas bandejas y ambos aparatos se mueven a igual velocidad.

Por motivos económicos, el potencial calórico del aire de retorno es aprovechado completamente, en lo posible: el ventilador aspira el aire fresco a través del intercambiador de calor y precalienta así el aire, el cual es calentado a la temperatura deseada por el calefactor subsiguiente. En el tostadero de un piso, el aire de escape es derivado sobre la recuperación de calor. Por supuesto, éste no es el caso en el tostadero de dos pisos. En este caso, luego de haber pasado la bandeja inferior, el aire es llevado a la temperatura predeterminada por adición regulada de aire caliente y aire frío. De esto resulta la necesidad de un control totalmente independiente de temperatura y de aire para las bandejas inferior y superior.

2.5.2.5 Tostaderos verticales

Una forma enteramente diferente del tostado es realizada en los tostaderos verticales. En éstos, la malta se encuentra depositada como una capa de aproximadamente 20 cm de ancho entre dos bandejas dispuestas de forma vertical y es atravesada por aire caliente, de forma alternada (Figura 2.62). Una capa tal de malta es llamada pozo de malta o célula de malta. Según el tamaño, hay 3 a 12 de estos pozos de malta separados entre sí por conductos de aire de aproximadamente 80 cm de ancho. En altura, el tostadero está dividido en dos o tres pisos, por medio de entrepisos. De esta manera se tienen pasillos transitables en los conductos de aire. Los pozos de malta están divididos en las mismas alturas que los conductos de malta. Por aper-

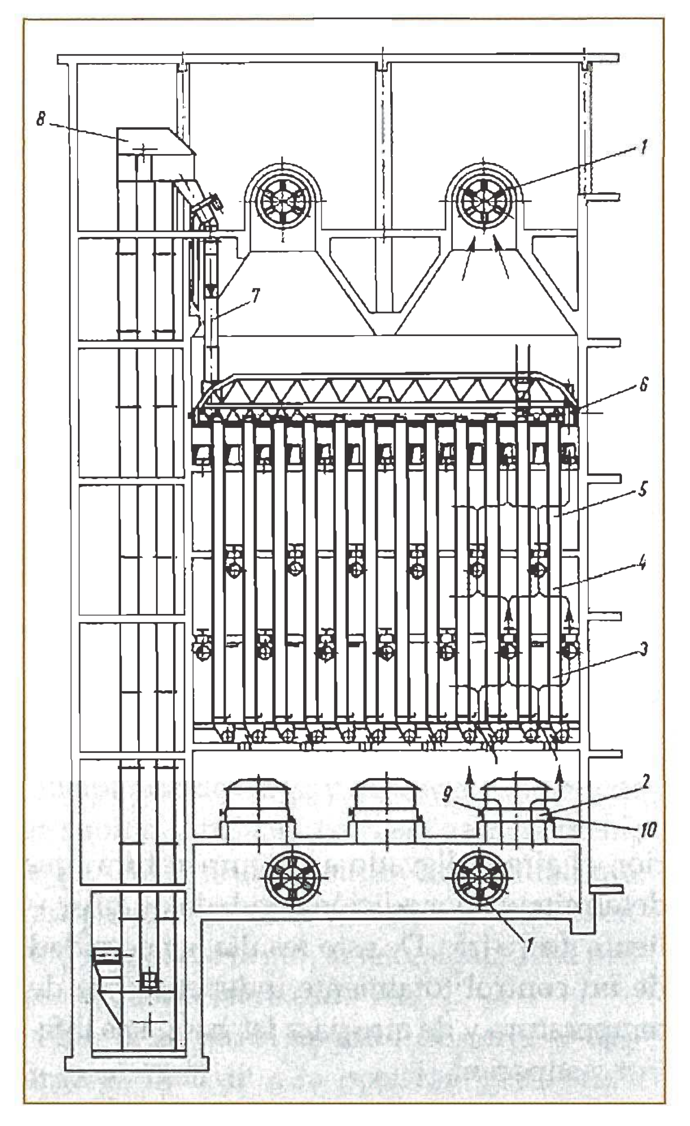


Figura 2.62
Tostadero vertical de tres pisos (esquema)
(1) ventilador axial, (2) calentador de aire por vapor, (3) bandeja inferior, (4) bandeja intermedia, (5) bandeja superior, (6) tornillo sinfín de carga, (7) tubo telescópico, (8) elevador

tura de las tapas, la malta cae por acción de la gravedad a la bandeja inferior o al dispositivo de transporte, para la distribución.

En el tostadero vertical, la malta cae por gravedad de una bandeja a la otra. La malta verde no es volteada.

Dado que el espacio de tostado es muy bien aprovechado en el tostadero vertical, éste es considerado un tostadero de alto rendimiento. La calefacción del tostadero vertical es del mismo tipo que la utilizada en los tostaderos horizontales. El aire caliente es introducido por toberas de aire, ubicadas en el piso de los conductos de aire, y fluye a través de la malta.

El requerimiento de energía de los tostaderos verticales es, con aproximadamente 1,2 millón de kJ por cada 100 kg de malta, muy elevado, de manera que ya casi no hay en uso tostaderos de este tipo.

2.5.3 Realización del tostado

En el tostado se calienta la malta verde hasta la temperatura de curado, la cual es mantenida durante 3 a 5 h. Pero el calentamiento debe tener lugar de forma muy cuidadosa y con una reducción controlada del contenido de agua, dado que si no

- se engrudaría el almidón en la malta, formándose malta vítrea a partir de ello
- todavía se podrían formar productos de degradación durante el proceso de tostado.

Por eso, el desarrollo del tostado se rige según el tipo de malta que debe ser fabricado. Para marcar mejor las diferencias, comparamos las condiciones básicas para la fabricación de malta pálida y malta oscura:

	Malta pálida (tipo Pilsner)	Malta oscura (tipo Munich)
contenido de proteínas de la cebada	8,5 a 11%	11 a 13%
grado de remojo	42 a 44%	44 a 47%
temperatura máxima de germinación	17 a 18°C	22 a 25°C
modificación	poca	abundante (enredamiento)
longitud de acrospira	2/3 a 3/4	3/4 a 1/1

	Malta pálida (tipo Pilsner)	Malta oscura (tipo Munich)
presecado bandeja superior	secado rápido, por fuerte aspiración de ventilador; inactivación de las enzimas, no hay degradación de substancias	provisión de un clima húmedo y cálido, por recirculación; fuerte actividad enzimática; formación de substancias de degradación
bandeja inferior temperatura de curado	80 a 85°C	105 a 110°C
formación de melanoidina	muy poca	abundante

Es por eso que se divide el tostado en tres fases:

Presecado

Aquí se disminuye lentamente, por medio de mucho aire caliente, el contenido de agua de la malta verde al 12 a 14%, no debiendo aumentar la temperatura de la capa inferior de malta por encima de 55°C.

Las temperaturas menores de presecado y los tiempos mayores de presecado producen a temperaturas moderadas

- más productos de degradación de grasas en la malta tostada, y
- mejor estabilidad de sabor [151].

Hacia el final de este tiempo la línea de humedad de aire de escape, Figura 2.63 (3), intersecta la línea de temperatura encima de la bandeja (2).

Este punto de intersección se denomina ruptura (D). La ruptura determina la finalización de la fase de presecado. Para ese momento, la capa de malta se hunde un poco si se la pisa, debido a la deshumectación progresiva.

Calentamiento

Se entiende bajo ello el calentamiento lento de la malta hasta la temperatura de curado, con reducción simultánea del contenido de agua al 4 a 5%.

Curado

Esto es el mantenimiento de la temperatura de curado por 3 a 5 horas. Respecto de la relación entre la temperatura de curado y el tiempo de curado ver Sección 2.5.1.5

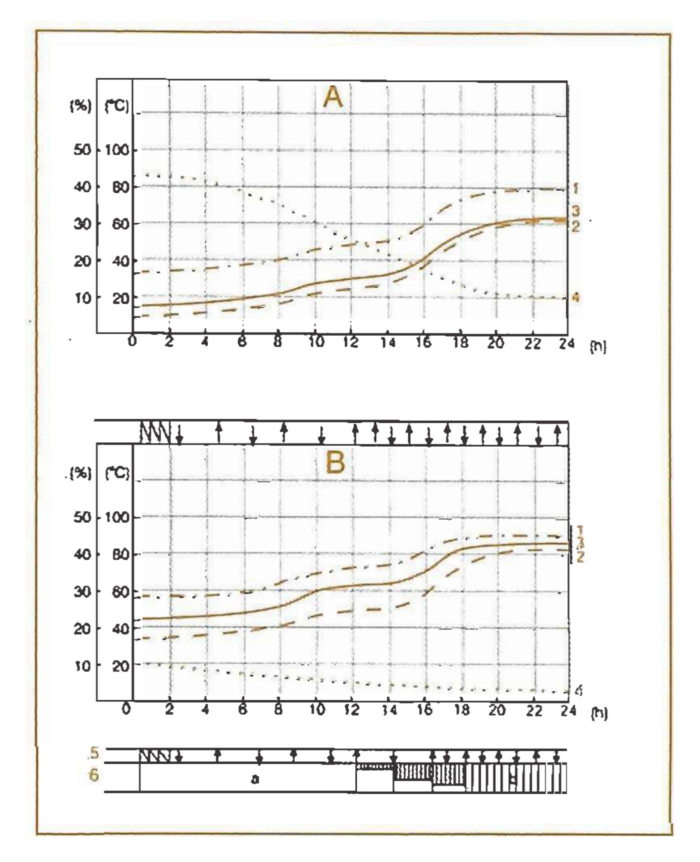


Figura 2.63
Esquema de presecado y tostado para malta pálida en un tostadero de dos pisos (según Narziß)
(A) bandeja superior, (B) bandeja inferior
(1) temperatura debajo de la bandeja, (2) temperatura sobre la bandeja, (3) temperatura en la malta, (4) contenido de agua en la malta, (5) ventilador, (6) volteador

2.5.3.1 Fabricación de malta tipo Pilsner

En la fabricación de malta tipo Pilsner se deben evitar todos los factores que favorecen la formación de melanoidina:

- se utilizan cebadas con bajo contenido de proteínas (hasta 11%),

- el grado de remojo se mantiene bajo (42 a 44%),
- los procesos de degradación en la germinación no son avanzados demasiado (temperatura máxima 17 a 18°C, poca modificación, acrospira 2/3 de la longitud de grano, raicillas 1,5 veces la longitud de grano),
- en el tostado, se reduce en la primera mitad del proceso el contenido de agua al 8 a 10 %, a baja temperatura (55°C) y por fuerte aspiración de ventilador, de manera que las enzimas ya no puedan realizar una degradación de substancias,
- la temperatura de curado es 80 a 85°C en la malta tipo Pilsner. Para lograr una carga térmica lo más reducida posible con una máxima evacuación simultánea del DMS, se tuesta mejor durante 2 a 3 horas a 85°C, que durante 5 horas a 80°C (ver Sección 2.5.1.5).

Fabricación de malta tipo Pilsner en el tostadero de dos pisos

Si se fabrica malta tipo Pilsner en un tostadero de dos pisos con volteadores en 2 x 24 horas, se obtiene otro desarrollo del tostado (Figura 2.63).

El control de la temperatura en tres puntos (arriba, en la mitad, abajo) es realizado por termómetros, que deben estar a una distancia invariable de la bandeja. A pesar de que el producto en tostación no es volteado permanentemente, se puede esperar una malta uniforme:

El secado tiene lugar sobre la bandeja, de abajo hacia arriba. El agua que se evapora debido a ello mantiene más baja la temperatura en las capas de malta superiores y más húmedas, impidiendo así la formación de malta vítrea.

Las temperaturas sobre la bandeja son, en la primera mitad del proceso de tostado, notablemente menores que las temperaturas en la parte inferior de la bandeja y aumentan recién después de la ruptura. Bajo ruptura se entiende el momento en que la curva descendente del contenido de agua intersecta la curva ascendente de la temperatura en la malta sobre la bandeja inferior. En ese momento, la malta cede un poco al ser pisada.

2.5.3.2 Fabricación de malta tipo Munich

En la fabricación de malta tipo Munich se estimulan todos los factores que favorecen una formación de melanoidina:
se utilizan cebadas ricas en proteínas,
el grado de remojo se mantiene elevado (44 a 47%),
las enzimas trabajan intensivamente y forman muchos productos de degradación

Fabricación de malta tipo Pilsner en el tostadero de un piso

Hora	Temperatura medida en la malta en °C			Contenido de agua en %			Ventilador con
	arriba	mitad	abajo	arriba	mitad	abajo	
1 a 3	20	28	37	41	39	33	potencia máxima
4 a 7	35	45	52	35	30	17	potencia máxima
8 a 11	55	59	62	19	16	8	potencia máxima
12 a 15	71	73	78	7	6	6	3/4 de potencia
16 a 19	79	82	85	6	4,5	4,5	1/2 de potencia
20 a 22	84	85	86	4	4	4	1/2 de potencia

durante la germinación (temperatura máxima 20 a 25°C, modificación abundante, acrospira con 3/4 de la longitud de grano, raicilla con dos veces la longitud de grano), en la primera mitad del proceso de tostado se reduce el contenido de agua solamente al 20 %, por medio del cierre de los humeros, dándole así a las enzimas una posibilidad favorable de formar más productos de degradación. Este proceso se denomina presecado (Figura 2.64).

La temperatura de curado en la malta tipo Munich es 105°C.

2.5.3.3 Descarga del tostadero

Luego de la finalización del tostado, el tostadero es descargado lo más pronto posible, para que pueda ser cargado nuevamente.

Para la descarga, la malta tostada es

- empujada hacia afuera con una pala mecánica, en plantas más antiguas,
- volcada, en tostaderos con bandeja volcable, o
- empujada a la tolva lateral, con un dispositivo de descarga.

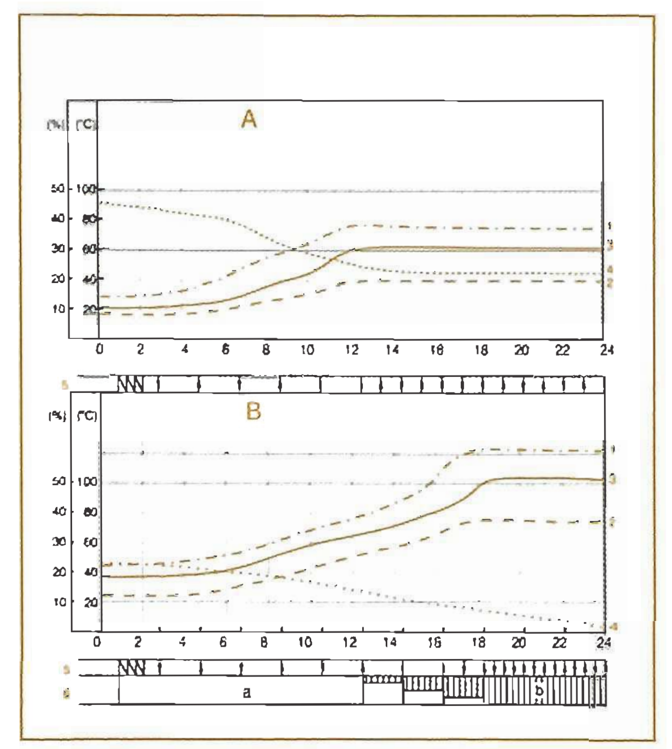


Figura 2.64
Esquema de presecado y tostado para malta oscura en un tostadero de dos pisos (según Narziß)
(1) temperatura debajo de la bandeja, (2) temperatura sobre la bandeja, (3) temperatura en la malta, (4) contenido de agua en la malta, (5) volteo, (6) humeros
a = abiertos, b = cerrados

Fabricación de malta tipo Munich en el tostadero de dos pisos

Hora	Temperatura medida en la malta en °C		Contenido de agua en %		Operación de volteadores, luego de … hs.	Regulación de humeros	
	b. s.	b. i.	b. s.	b. i.	b. s.	hora	humeros
1 a 4	20		44			1 a 10	abiertos
5 a 9	30		30		cada 2 hs		
10 a 14	40		25			11 a 14	cerrar 1/4
15 a 19	60		22			14 a 17	cerrar 1/2
						17 a 19	cerrar 3/4
20 a 24	65		20		cada hora	19 a 23	cerrar totalmente
25 a 29		50		16	cada hora	25 a 34	abierto
30 a 34		50		12			
35 a 39		65		7	cada hora	35 a 38	cerrar 1/4
40 a 44		90		5		38 a 41	cerrar 1/2
						41 a 43	cerrar 3/4
45 a 48		105	3		constantemente	43 a 47	cerrar totalmente

b. s. = bandeja superior, b. i. = bandeja inferior

2.5.3.4 Control del trabajo de tostado

La correcta factura del trabajo de tostado depende de un control constante de

- las temperaturas en la malta, por encima y por debajo de la malta, del aire exterior, del aire ingresante y del aire de retorno,
- de la humedad del aire en las capas de malta,
- del tiempo de operación de los volteadores -si los hay,
- del tiempo de operación del ventilador,
- de la posición de las válvulas de aire fresco y de aire de retorno, etc.

Todos los factores son programables y son regulados automáticamente en las plantas modernas. Dado que hoy en día también se puede automatizar la carga y descarga del tostadero, tienen cada vez más importancia el pupitre de mando y el monitor de video. Pero con esto aumenta cada vez más en relevancia, para el maltero operador, el conocimiento de las relaciones entre todos los procesos.

2.6 Tratamiento de la malta después del tostado

Después del tostado, la malta es enfriada y las raicillas aún adheridas a ésta son separadas lo más pronto posible. Luego, la malta es almacenada hasta la entrega y a veces es limpiada (pulida) nuevamente previo al despacho, para mejorar su aspecto.

2.6.1 Enfriado de la malta curada

La malta curada aún está a aproximadamente 80°C y no puede ser almacenada a esa temperatura. Para ello debe ser enfriada. Ello sucede por

- soplado de aire fresco y frío, hasta alcanzar por lo menos 35 a 40°C, o
- por enfriamiento en una tolva especial de enfriamiento, o
- en malterías pequeñas, por pasaje lento a través del limpiador de malta.

Dado que la cantidad de energía contenida en la malta curada es muy grande, se trata hoy cada vez más de utilizar esa cantidad de calor durante el enfriamiento, para el presecado de la próxima carga. Para eso, el aire de presecado puede ser pasado a través de la malta tostada, siendo así precalentado. Con esto no es necesario el soplado de aire frío.

Posteriormente al enfriado, la malta es desgerminada.

2.6.2 Limpieza de la malta

En la malta curada todavía se encuentran adheridas en su mayor parte las raicillas, que componen el 3 al 4% de la malta. Para el procesamiento ulterior de la malta, las raicillas (secas) carecen de valor y deben ser removidas. Este proceso se denomina limpieza de la malta.

Las raicillas secas representan el producto residual más valioso de la maltería. La composición promedio de las raicillas secas en la malta tipo Pilsner es:

agua	8,8%
proteínas	30,0%
grasas	2,0%
cenizas	6,0%
fibra cruda	8,6%
extractos libres de nitrógeno	44,6%

Una pequeña parte de las raicillas secas ya fue separada por quiebre durante el tostado y pudo ser removida allí. En los tostaderos modernos de bandeja giratoria, se encuentran artesas con tornillos sinfín para la remoción, que están ubicados debajo de los volteadores fijos, respectivamente de los dispositivos de carga.

En tostaderos más antiguos, las raicillas secas caen a través de las bateas en la cámara colectora de raicillas secas, que se encuentra debajo de las bateas. Si las raicillas secas son calentadas demasiado allí, adquieren una coloración marrón y disminuyen notablemente su digestibilidad. Por eso, no es bueno que las raicillas secas caigan sobre los tubos calefactores o en la cámara de calefacción. Por

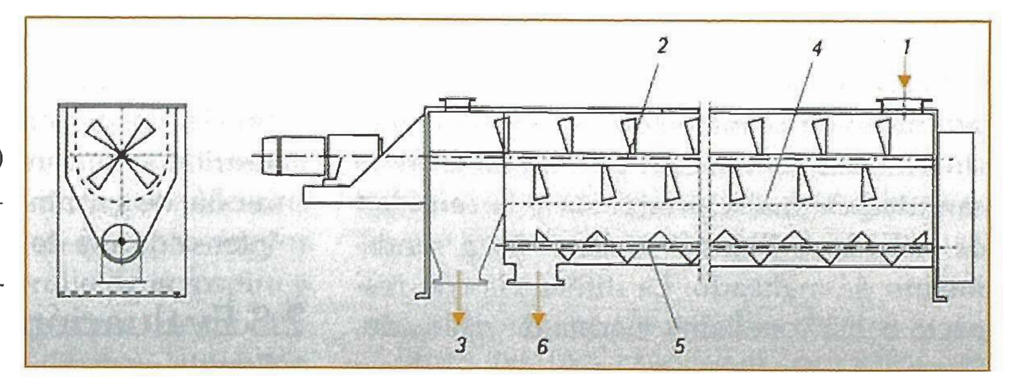


Figura 2.65: Tornillo sinfín desgerminador de malta (1) entrada de la malta, (2) tornillo de paletas, (3) salida de la malta, (4) tamiz, (5) tornillo sinfín de transporte, (6) salida de las raicillas secas de la malta

este motivo, el color de estas últimas raicillas secas es siempre más oscuro que el de aquellas removidas por limpieza.

La limpieza o el desgerminado de la malta es realizado por una máquina desgerminadora de malta o por un tornillo sinfín desgerminador. Todas las máquinas desgerminadoras de malta trabajan de manera tal, que los granos son presionados contra un cilindro tamizante. Con esto, las raicillas adheridas se separan por quiebre y son removidas por un tornillo sinfín, ubicado debajo del tamiz (Figura 2.65). Es importante en esto que los granos no sean dañados, sino que la masa de granos sea movida por un efecto revolvedor, y sea así liberada (limpiada) de las raicillas secas adheridas.

2.6.3 Almacenamiento de la malta

El contenido de agua aumenta lentamente durante el almacenamiento hasta 4 a 5%. En esto se producen cambios físicos y químicos en el endospermo, que facilitan el procesamiento ulterior. En el caso de ser procesada inmediatamente, la malta recién curada causa dificultades de filtración y de fermentación.

La malta es almacenada durante cuatro semanas, como mínimo, en silos o en graneros. Los almacenes de malta no son aireados, dado que la mayoría de los embriones ya no vive y una respiración acarrearía únicamente pérdidas indeseadas en el grano. Una precondición para un almacenamiento adecuado es que la malta no se humedezca, dado que es higroscópica. Es por ello que debe evitarse el ingreso de aire húmedo.

La malta a ser almacenada debe estar bien desgerminada, fría y seca.

Debido a la menor superficie, el riesgo de absorción de agua en los silos es menor que con el almacenamiento en graneros. En el almacenamiento en graneros, la malta está depositada con una altura de aproximadamente 3 m. Antaño se la cubría, a veces, con una capa de raicillas secas de malta, las cuales absorbían la humedad, evitando así una humidificación de la malta.

2.6.4 Pulido de la malta

Previo al despacho, la malta es frecuentemente liberada de partículas de suciedad adheridas y de fragmentos astillados de gluma. Este proceso se llama pulido y mejora el aspecto de la malta.

Aparte de un imán, la máquina de pulido, que está conectada a una unidad de aspiración central, tiene un juego de tamices vibratorios, en el que son removidas todas las impurezas bastas y finas de la malta (fragmentos astillados de cáscara, etc.). Un rodillo cepillador de cerdas blandas estrega entonces la malta contra una chapa perfilada, liberándola así de partículas de polvo adheridas. Dependiendo de la modificación de la malta, la máquina de pulido puede ser ajustada más o menos "apretada". El residuo de pulido es rico en extractos, porque en el pulido también caen fragmentos de granos rotos.



2.7 Rendimiento en el malteado

Naturalmente, de 100 kg de cebada no se producen en el malteado 100 kg de malta, sino menos. La relación porcentual entre la cantidad de malta producida y la cantidad de cebada utilizada se denomina rendimiento de malteado. La diferencia con respecto a 100% se llama merma de malteado. El rendimiento debe ser lo más alto posible y la merma lo más pequeña posible.

Por lo general, se calcula que con la malta tipo Pilsner se obtienen en promedio, a partir de 100 kg de cebada limpiada,

100 kg de cebada en remojo,
148 kg de cebada escurrida,
140 kg malta verde,
78 kg de malta recién terminada de tostar,
80 kg de malta almacenada.
Es decir que se producen 20 kg de merma.

Guía aproximada:
De 100 kg de cebada en remojo se producen 80 kg de malta pálida.

Aproximadamente la mitad de la merma se produce por la diferencia en el contenido de agua:

- contenido de agua de la cebada 12 a 14%
- contenido de agua de la malta 3 a 4%

Esto resulta ya en una diferencia del orden del 10%, sin que se haya perdido substancia. Pero también en la materia seca del grano se producen pérdidas durante el malteado, las cuales pueden ser puestas como sigue:

	Malta pálida	Malta oscura
merma por remojo	1,0%	1,0%
merma por respiración	5,8%	7,5%
merma por raicillas	3,7%	4,5%
merma seca total	10,5%	13,0%

La mayor porción de la merma se produce por la respiración y por la formación de la substancia estructural en las raicillas.

Para mantener la merma de malteado lo más baja posible, deben por sobre todo restringirse la respiración y el desarrollo de las raicillas. Esto puede suceder por

- proceso de germinación en frío,
- restricción de la respiración a partir del tercer día de germinación, por utilización más intensa de aire de retorno, rico en CO_2.

2.8 Evaluación de la malta

Para la evaluación de la malta, rigen los métodos de análisis técnico-cerveceros de la Comisión Centroeuropea de Análisis de Tecnologías Cerveceras (MEBAK).

La malta puede ser examinada

- con el control de calidad manual,
- por medio de exámenes mecánicos, y
- por métodos de examen técnico-químicos.

2.8.1 Control de calidad manual

El control de calidad de la malta es realizado sobre el color, el olor, el sabor, el aroma y el brillo, así como sobre el grado de impurezas. El control de calidad manual da únicamente una indicación muy somera.

2.8.2 Exámenes mecánicos

2.8.2.1 Clasificación

La clasificación es realizada de igual forma que con la cebada. Aquí, por lo menos el 85% debe ser de 1ª variedad y la borra debe ser inferior al 1%.

2.8.2.2 Masa de mil granos

La determinación de la masa de mil granos es realizada de igual forma que con la cebada. Son aquí valores normales

- 28 a 38 g en malta secada al aire, y
- 25 a 35 g calculados sobre materia seca de la malta.

2.8.2.3 Masa hectolítrica

También la masa hectolítrica es calculada de igual forma que con la cebada. Pero casi no se la determina, porque el valor predictivo es bajo.

2.8.2.4 Prueba de flotación (prueba de hundimiento)

En tanto que los granos de cebada se hunden, los de malta flotan normalmente sobre la superficie, debido a las inclusiones de aire. La porción de flotadores es tanto mayor cuanto mayor es el desarrollo de acrospira y con ello el avance de los procesos de modificación en la malta. Normalmente, la porción de granos que se hunden es

en maltas pálidas,	
bien modificadas	30 a 35%
en maltas oscuras	25 a 30%

2.8.2.5 Vitreosidad

La vitreosidad se determina con el dispositivo de corte longitudinal. La porción de granos totalmente vítreos no debería exceder aquí el 2% y por lo menos el 95% de los granos debería ser harinoso.

2.8.2.6 Friabilidad

Una friabilidad insuficiente o un exceso de vitreosidad pueden causar dificultades en la filtración, en la clarificación del mosto y en la filtración de la cerveza.

La friabilidad se determina con ayuda del friabilímetro. Aquí, los granos de malta son separados, entre un rodillo de goma y un tambor tamizante en rotación, en granos fáciles de desintegrar y granos duros. El resultado se expresa en porcentaje de friabilidad, respectivamente de vitreosidad total. Son aquí valores normales

Friabilidad (maltas pálidas)	
mayor que 81%	muy buena
78 a 81%	buena
75 a 78%	satisfactoria y
menor que 75%	deficiente
Vitreosidad	
menor que 1% muy buena	
1 a 2%	buena
2 a 3%	satisfactoria
mayor que 3%	deficiente

2.8.2.7 Desarrollo de la acrospira

El desarrollo de la acrospira da una indicación respecto de la uniformidad de la germinación. Para ello, se separan los granos como sigue, según la longitud de la acrospira, y se los cuenta:

0 hasta inclusive 1/4 de la longitud de grano (Clase 1)
1/4 hasta inclusive 1/2 de la longitud de grano (Clase 2)
1/2 hasta inclusive 3/4 de la longitud de grano (Clase 3)
3/4 hasta inclusive 1/1 de la longitud de grano (Clase 4)
mayor que 1/1 (húsares) (Clase 5).

De la correspondiente porción se calcula la longitud media de acrospira. Ésta debe encontrarse entre 0,7 y 0,8, para maltas pálidas.

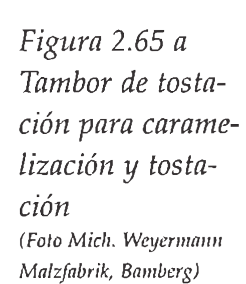




Figura 2.65 a Tambor de tostación para caramelización y tostación
(Foto Mich. Weyermann Malzfabrik, Bamberg)

2.8.2.8 Capacidad de germinación

Normalmente, el 6 al 10% de los granos de malta viven y crecen aun en un nuevo remojo. Si la capacidad de germinación es mayor que 10%, existe el riesgo de que la malta haya sido curada a una temperatura que no era lo suficientemente elevada o que el

tiempo de curado no haya sido lo suficientemente prolongado.

2.8.2.9 Densidad

La densidad permite una indicación sobre la modificación del endospermo. Cuanto menor es la densidad, tanto mejor es la friabilidad del grano. La densidad se clasifica de la siguiente manera:

Densidad en kg/dm3		Friabilidad
menor que	1,10	muy buena
1,10 a 1,13	buena	
1,14 a 1,18	satisfactoria	
mayor que	1,18	pobre

2.8.2.10 Método de lijado de los granos, según Carlsberg

No se puede excluir que la partida de malta contenga granos de malta con modificación muy diferente entre sí y también granos sin maltear. Pero en el procesamiento ulterior, los granos de malta con modificación insuficiente y, con ello, con una porción demasiado elevada de β-glucano pueden causar dificultades de filtración de mosto y de filtración de cerveza. Esto debe ser controlado por medio del método de lijado de los granos.

En este método relativamente sencillo, los granos son lijados longitudinalmente y el grado de modificación es hecho visible por medio de coloración con Calcofluor. Los granos se separan aquí en seis categorías (desde "no modificado" hasta "completamente modificado") y se determina con ello la homogeneidad de la malta.

La homogeneidad debe ser del 70%, mejor aún del 75%.

2.8.3 Exámenes químico-técnicos

2.8.3.1 Contenido de agua

La determinación del contenido de agua es realizada de igual forma que con la cebada. Los valores normales son

- para malta pálida 3,0 a 5,8% (recién tostada 0,5 a 4%)
- para malta oscura 1,0 a 4,5% (recién tostada 0,5 a 4%).

El límite comercial se encuentra, por lo general, en 5%.



Figura 2.65b
Baño de maceración

2.8.3.2 Proceso de maceración en laboratorio

La principal característica de la malta es naturalmente su comportamiento en el proceso de maceración y su capacidad de degradar al máximo las substancias contenidas. Para ello, se realiza en el laboratorio un proceso de maceración estandarizado en un baño de maceración (Figura 2.65b) y en relación con éste se determina el rendimiento en la malta. Se asume aquí que una malta está tanto mejor modificada cuanto menos efecto tenga la trituración de la malta sobre el rendimiento. Por ese motivo, el proceso de maceración estandarizado de laboratorio es realizado siempre con determinación doble,

- triturando de forma gruesa 50 g de malta, de manera de obtener una porción de harina de sólo un 25% (análisis de trituración gruesa),

- triturando de forma muy fina 50 g de malta, de manera de obtener una porción de harina del 90% (análisis de trituración fina).

Para esto se utilizan molinos de discos de DLFU, de acuerdo con las recomendaciones de la EBC, los cuales deben ser especialmente ajustados para cumplir estos objetivos.

Los 50 g de producto triturado grueso y los de producto triturado fino se mezclan cada uno con 200 ml de agua destilada a una temperatura de 45 a 46°C en un recipiente especial de maceración y se macera a 45 °C, revolviendo constantemente durante 30 min.

Luego, se incrementa la temperatura en el recipiente de maceración en 25 min a 70°C (1K/min), se agregan ahí 100 ml de agua a 70°C y se mantiene la temperatura revolviendo durante una hora. En ese tiempo se controla la sacarificación.

Luego, la mezcla es enfriada a temperatura ambiente dentro de los 10 a 15 min y se le agrega agua destilada al contenido del recipiente, hasta que éste alcanza los 450 g. Todo el contenido es luego filtrado a través de un filtro de papel plegado. Los primeros 100 ml de materia filtrada son retornados al filtro y se interrumpe la filtración cuando la torta de filtración aparenta estar seca.

El mosto obtenido se denomina mosto congreso y es controlado inmediatamente. El análisis más importante es el que corresponde al extracto obtenido. Dado que una medición del mosto con hidrómetro es demasiado imprecisa -tal como lo veremos en la sala de cocción-, el contenido de extracto es medido con picnómetro (Figura 8.12), refractómetro, hidrómetro especial o con un dispositivo preciso de medición de densidad. El rendimiento de extracto se determina con la tabla de Plato. El rendimiento de extracto se indica en porcentajes y está referido tanto a la materia secada al aire como a la materia seca.

En esto, nos interesa mucho más el rendimiento de extracto en la materia seca, porque la indicación de la materia secada al aire es dependiente del contenido de agua de la malta.

Los valores normales de rendimiento de extracto de proceso de maceración estandarizado de laboratorio son

- en maltas pálidas 79 a 82% en materia seca,
- en maltas oscuras 75 a 78% en materia seca.

La malta es considerada tanto mejor cuanto mayor es el rendimiento de extracto.

En esto se pone gran énfasis en que la malta esté bien modificada. En una malta bien modificada, la diferencia de extracto entre el análisis de triturado grueso y el de triturado fino es baja, porque la trituración tiene entonces una reducida influencia sobre la modificación. Ello se evalúa así:

% de extracto en materia seca de triturado fino
% de extracto en materia seca de triturado grueso.

Vale aquí una diferencia
menor que 1,8% como buena,
mayor que 1,8% como moderada.

Del mosto congreso se determina a continuación:

El *olor de la mezcla*; éste debe ser "normal" si se corresponde con el típico de la malta examinada.

La *reacción normal al yodo*; se indica aquí el tiempo que requiere la mezcla, luego de alcanzar los 70°C, para la reacción normal al yodo. Es decir, hasta que resulte una mancha puramente amarilla. El resultado se indica como "menos de 10 min", "10 a 15 min", "15 a 20 min", etc.

La *filtración*; se la califica como "normal", si está finalizada dentro del término de una hora; si dura más, se la debe registrar como "lenta".

El *aspecto*; el aspecto es "claro", "opalescente" o "turbio".

El *valor pH*; se lo mide 30 min después del inicio de la filtración, con el electrodo de vidrio; el valor pH del mosto congreso se encuentra en 5,6 a 5,9.

El *color del mosto*; si bien el color del mosto no suministra una prueba segura respecto del color de la cerveza, se lo mide sin embargo siempre, porque permite una indicación sobre el tipo de malta utilizada. Se mide en el comparador Hellige Neo, por medio de una comparación entre el color del mosto y un disco de colores adecuado.

Como valores normales rigen aquí

- para maltas pálidas — hasta 4 unidades EBC
- para maltas de coloración media — 5 a 8 unidades EBC
- para maltas oscuras — 9,5 a 20 unidades EBC.

El *color del mosto cocido*; se cuece el mosto durante dos horas en el condensador de reflujo y se lo clarifica a través de un filtro de membrana. Del color de cocción del mosto congreso se pueden obtener indicaciones respecto del color de la cerveza, pero la relación no está asegurada estadísticamente. Las maltas pálidas alcanzan en promedio 5,1 unidades EBC, como máximo 7 EBC.

La *viscosidad del mosto*; de la viscosidad del mosto congreso se pueden obtener indicaciones sobre el comportamiento futuro del mosto durante la clarificación y la filtración. El mosto congreso debe tener una viscosidad de 1,5 a 1,6 mPa·s. La cerveza normal (calculada al 12%) tiene 1,6-2,0 mPa·s).

El *contenido de nitrógeno*; se lo determina de la misma forma que con la cebada y en la malta es hasta un 0,5% menor. Por lo general, está indicado como contenido de proteínas: N·6,25. El contenido de proteínas en la malta debe menor que el 10,8%.

El *nitrógeno soluble*; bajo esto se entienden los compuestos de nitrógeno, que fueron disueltos durante el proceso de maceración en laboratorio. Normalmente esto es un 0,55 a 0,75% de nitrógenos solubles en la materia seca o 650 a 750 mg/l.

El *grado de modificación proteica* (Índice Kolbach); el grado de modificación proteica indica qué porcentaje del nitrógeno total de la malta fue disuelto durante el proceso de maceración en laboratorio. Consecuentemente, el grado de modificación proteica es una característica de la modificación proteolítica de la malta y se asume que la malta está tanto mejor modificada, cuanto mayor es el grado de modificación proteica. Las maltas se evalúan con un Índice Kolbach

menor que 35	como moderadamente modificada
35 a 41	como bien modificada, y
mayor que 41	como muy bien modificada.

El *nitrógeno de formol*; con el nitrógeno de formol se determinan los compuestos de nitrógeno de bajo peso molecular; los valores normales son aquí 180 a 220 mg/100 g de materia seca de malta.

El *aminonitrógeno*; con el aminonitrógeno también se determinan los compuestos proteicos de bajo peso molecular; los valores normales están en el orden de

120 a 160 mg/100 g de materia seca de malta.

El *poder diastático*; para la degradación enzimática del almidón, es decisivo el potencial de amilasas. Consecuentemente, su actividad es importante para la calidad de la malta. El potencial diastático se indica en unidades Windisch-Kolbach (unidades WK).

Normalmente,

- la malta pálida tiene 240 a 260 WK,
- la malta oscura tiene 150 a 170 WK.

El método de las cuatro maceraciones, según Hartong-Kretschmer; en cuatro recipientes con 50 g de producto triturado fino se macera durante una hora a temperatura constante como sigue

un recipiente a 20°C (valor VZ 20°C)
un recipiente a 45°C (valor VZ 45°C)
un recipiente a 65°C (valor VZ 65°C) y
un recipiente a 80°C (valor VZ 80°C)

y luego se determina el contenido de extracto.

Del resultado se pueden obtener indicaciones importantes sobre la actividad enzimática, la modificación del endospermo y la modificación proteica. El valor VZ 45°C alcanzó aquí la mayor importancia. Está estrechamente relacionado con el contenido de aminonitrógeno y permite una predicción respecto de la alimentación de las levaduras. El valor normal para maltas pálidas es

VZ 45°C 33 a 41.

- El contenido de DMS-P debería ser 5 mg/kg, como máximo.
- El contenido de NDMA (nitrosaminas) debe ser 3μg/kg, como máximo.

Coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ)

El coeficiente (adimensional) de ácido tiobarbitúrico (TBZ) sirve para medir la carga térmica de la malta y del mosto. El aumento del TBZ va acompañado de una fuerte caída en la estabilidad de sabor de la cerveza. Por eso, se está interesado en tener un TBZ reducido, sobre todo en las maltas pálidas. El TBZ no debe exceder las 14 a 15 unidades en las maltas pálidas. Las maltas oscuras tienen un TBZ notablemente más alto (tipo Munich oscura > 100, malta torrefacta > 1.500 unidades).

En el año 2000, las maltas pálidas examinadas [242] tenían los siguientes valores:

contenido de agua	4,4%
extracto en materia seca de triturado fino	82,1%
extracto en materia seca de triturado grueso	80,9%
diferencia de extracto	1,1 EBC
color del mosto cocido	5,8 EBC
viscosidad	1,53 mPa·s
proteínas en la materia seca de la malta	10,0%
índice de Kolbach	41,3
valor VZ 45°C	36,9
DMS-P en la materia seca de la malta	405 μg/100 g
valor de friabilímetro	85,8%
FAN en el mosto frío	139 mg/l
contenido de β-glucano en el mosto frío	246 mg/l

2.8.4 Contrato de suministro de malta

En el contrato de suministro de malta, la maltería garantiza una determinada calidad de su producto. Por otro lado, la fábrica de cerveza tiene una serie de especificaciones con respecto a la calidad de la malta, la cual garantiza que se pueda obtener sin demoras una buena calidad de cerveza con el proceso de maceración utilizado en planta.

Para una buena malta, rigen los siguientes criterios:

contenido de proteínas:	menor que 10,8%
índice Kolbach:	38 a 42%
rendimiento de extracto:	mayor que 82%
diferencia molienda fina-gruesa:	1,2 a 1,8%
viscosidad:	menor que 1,55 mPa·s
color:	menor que 3,4 EBC
color del mosto cocido:	menor que 5,0 EBC
N en la materia seca de la malta:	mayor que 0,65 g/100 g MTrS
valor de friabilímetro:	mayor que 87%
DMS-P	menor que 6 ppm
vitreosidad total:	menor que 2%
valor VZ 45°C:	37 a 41%
contenido de agua:	menor que 5,0%
borra:	menor que 0,8%
acrospiras: aspecto homogéneno, por ejemplo:	hasta 1/4: 0%
	hasta 1/2: 3%
	hasta 3/4: 25%
	hasta 1: 70%
	mayor que 1/1: 2%.

Para ello, debe estar también establecido que
- la malta ha sido fabricada sin ácido giberélico,
- la malta no contiene granos rojizos (infestación por fusarium),
- se realizan aumentos o reducciones de precio, en el caso de desviaciones en el contenido de agua y de extracto,
- se garantiza pureza de variedad y homogeneidad en la malta,
- se fija la duración de almacenamiento de la malta.

Para el cervecero y el maltero es importante saber qué valores corresponden a una buena malta, si está involucrado en un análisis de malta. Con una malta tal, es posible en cualquier caso utilizar un proceso ideal de maceración y consecuentemente fabricar una buena cerveza.

Es posible determinar, en el término aproximado de un minuto, los datos más importantes de una muestra de malta de aproximadamente 500 g, por medio de un aparato especial de análisis.

Éstos incluyen:
- contenido de agua,
- contenido de extracto de producto triturado fino,
- contenido de extracto de producto triturado grueso,
- contenido de proteínas,
- número de sacarificación VZ 45,
- viscosidad del mosto de laboratorio,
- valor pH del mosto de laboratorio,
- color del mosto, etc.

2.9 Maltas especiales y maltas de otros cereales

Mundialmente, la mayoría de las cervezas son cervezas claras. En correspondencia con eso, la demanda de malta pálida es muy grande, y la mayoría de las malterías fabrica casi exclusivamente malta pálida en grandes partidas. Pero también se fabrican mundialmente cada vez más tipos de cerveza, que se diferencian, en parte notablemente, en el sabor, el color, el aroma, el cuerpo, la espuma y otras características cualitativas. Pero esto significa también que para su fabricación se deben utilizar otras maltas, que contribuyen a expresar estas propiedades. Estas maltas están reunidas bajo el término "maltas especiales". Son fabricadas casi exclusivamente en malterías que se especializaron en la producción de las partidas obligadamente más pequeñas y que poseen las instalaciones necesarias para ello.

Los valores que deben corresponder a la malta pálida y a la malta oscura ya fueron detallados; a modo de comparación, se los menciona nuevamente a continuación.

Según el tipo de tratamiento térmico terminal, las maltas especiales se dividen también en maltas tostadas, maltas carameladas y maltas torrefactas.

2.9.1 Malta tipo Pilsner (malta pálida)

Un criterio importante es el control de la citólisis y de la proteólisis. Teniendo en cuenta que las variedades de cebada más nuevas poseen una tendencia a la sobremodificación, es aconsejable realizar una modificación más breve durante el malteado. Los objetivos son
- un color de 2,5 a 3,5 EBC,
- una diferencia molienda fina-gruesa de 1,7 a 2,0%, como máximo,
- una viscosidad menor que 1,55 mPa·s,
- un grado de modificación proteica alrededor del 40% (+1 a 2%),
- un contenido de aminonitrógeno libre (FAN) del 20%, como mínimo, del nitrógeno soluble,
- un valor VZ 45°C mayor que 36%,
- una cebada madura para germinar, que germine uniformemente.

La temperatura de curado puede ser aumentada para deprimir el contenido de precursor de DMS; esto es especialmente importante para las salas de cocción modernas.

2.9.2 Malta oscura (tipo Munich)

Para la fabricación de maltas oscuras, se favorecen todos los parámetros que causan la formación de productos Maillard (melanoidinas) productores de aroma. Éstos incluyen

- el procesamiento de cebadas con mayor contenido de proteínas,
- una germinación intensiva a temperaturas de 18 a 20°C,
- un elevado grado de remojo de 48 a 50%,
- un presecado húmedo-caliente,
- una temperatura de curado de 100 a 105°C, durante 4 a 5 h,
- un color de 15 a 25 EBC,
- una diferencia molienda fina-gruesa de 2,0 a 3,0%.

Una malta con 13 - 15 EBC (Munich pálida) provee la base para el carácter oscuro de la cerveza y se lo utiliza hasta en un 85% de la carga de materias primas. Una malta con 20 - 25 EBC (Munich oscura) ayuda a intensificar el aroma, si es usada en una porción del 20 al 40% de la carga de materias primas. Esto es de particular importancia en la aplicación de un proceso breve de maceración. Las maltas oscuras del tipo Munich se utilizan en porciones de hasta un 85% para remarcar el carácter cervecero típicamente oscuro de cervezas negras, cervezas de festividades y cervezas fuertes.

2.9.3 Malta Viena

La malta Viena se utiliza para la corrección de maltas muy pálidas o para la fabricación de cervezas "doradas" y para favorecer el cuerpo. Para ello

- se alcanza un grado de remojo de 44 a 46%,
- la malta se modifica de forma normal, no se la sobremodifica,
- se cura a 90 - 95°C y se logra así
- un color de 6 a 8 EBC.

La malta Viena se utiliza hasta en un 100% para la fabricación de cerveza tipo Märzen, cervezas de festividades, cervezas fuertes de exportación y cerveza de cervecería o pub.

2.9.4 Malta escaldada/ Malta melanoidina

La fabricación de malta escaldada es algo costosa. Se utiliza para ello

- cebada que es procesada como malta oscura y que
- es llevada, con un contenido de agua del 48%,
- a una temperatura de 40 a 50°C en las últimas 36 horas,
- para ello, se apilaba antaño el montón a una altura de 1,5 m y se lo tapaba con un toldo o se mantenía la malta verde en una caja especial con una "baja" aireación y a llama pequeña. En cualquier caso debe minimizarse la respiración; de esta manera es detenido el crecimiento del embrión, pero las enzimas continúan trabajando y a esa elevada temperatura se forman productos de bajo peso molecular en forma de azúcares y aminoácidos.
- en el presecado se trabaja de diferentes formas, pero esencialmente se continúa "escaldando" la malta verde caliente.
- se cura durante 3 a 4 h a una temperatura de 90 a más de 100°C.

La malta escaldada tiene un color de 50 a 80 unidades EBC. Se la utiliza

- junto con malta pálida u oscura, en cantidades de hasta 50%,
- para mejorar el aroma de maltas oscuras, en hasta un 25%,
- como substituto de malta colorante en cervezas de malta o cervezas tipo Alt.

La malta escaldada se denomina hoy en día malta melanoidina. Su fabricación tiene lugar análogamente en la caja y ya no más en la era. Los desarrollos de temperatura y la respiración reducida deben ser mantenidos de igual forma que con una malta bien modificada con un color de 60 - 80 EBC.

Se la utiliza hasta una porción de 5 a 20% de la carga de malta. La malta melanoidina le otorga a la cerveza un color algo rojizo, favorece la estabilidad de sabor, debido a un bajo

valor pH, aumenta el cuerpo y le da el toque justo al color de la cerveza.

2.9.5 Malta caramelo

Las maltas caramelo se utilizan para otorgar a la cerveza una profundidad de color y un cuerpo más altos y para acentuar el carácter a malta.

El punto de partida para la fabricación de malta caramelo es malta verde con una muy buena modificación y un contenido de agua de 45 - 48%. Por lo general, la fabricación se realizaba en la era y se asemeja primeramente a la fabricación de malta escaldada. En esto se incrementa la temperatura en el montón a 45 - 50°C en las últimas 30 a 36 horas, para lograr, a través de las enzimas, una degradación más intensa y con ello una formación de substancias albuminoideas de bajo peso molecular y de azúcares.

En el desarrollo ulterior se diferencia entre malta caramelo pálida y malta caramelo oscura. En ambos casos la malta verde se introduce en un tambor de tostación.

En los tambores de tostación, la malta caramelo es sacarificada a temperaturas entre 60 y 70°C durante 60 a 90 min. La malta caramelo oscura es calentada en aproximadamente 60 min, bajo una rápida salida del vapor de agua, a una temperatura de 150 a 180°C y esa temperatura es mantenida durante 1 a 2 h para caramelizar el contenido de grano. Del azúcar preformado se forman, en este proceso, compuestos de coloración marrón con típico aroma de caramelo. Según la temperatura y el tiempo de acción, este proceso puede ser intensificado o disminuido.

Posteriormente, la malta es extraída del tambor y enfriada rápida y uniformemente. De esta manera, el contenido de grano es blando, aun con un contenido de agua del 6%.

La malta caramelo pálida es tratada como la malta caramelo oscura, pero no durante tanto tiempo ni tampoco tan intensivamente.

En las décadas pasadas, la fabricación de malta caramelo sufrió una diferenciación adicional. Ésta incluye las maltas especiales Carahell®, Carapils® y Caramünch®, así como las variedades Carared® y otras.

La germinación ocurre aquí en tambores de germinación, para lograr una mejor homogeneidad. Al final del prolongado tiempo de remojo y germinación, el producto en germinación es llevado a temperaturas de 40 a 45°C, iniciándose con ello una degradación enzimática intensiva.

La sacarificación y caramelización tienen lugar posteriormente en un tambor de tosta-

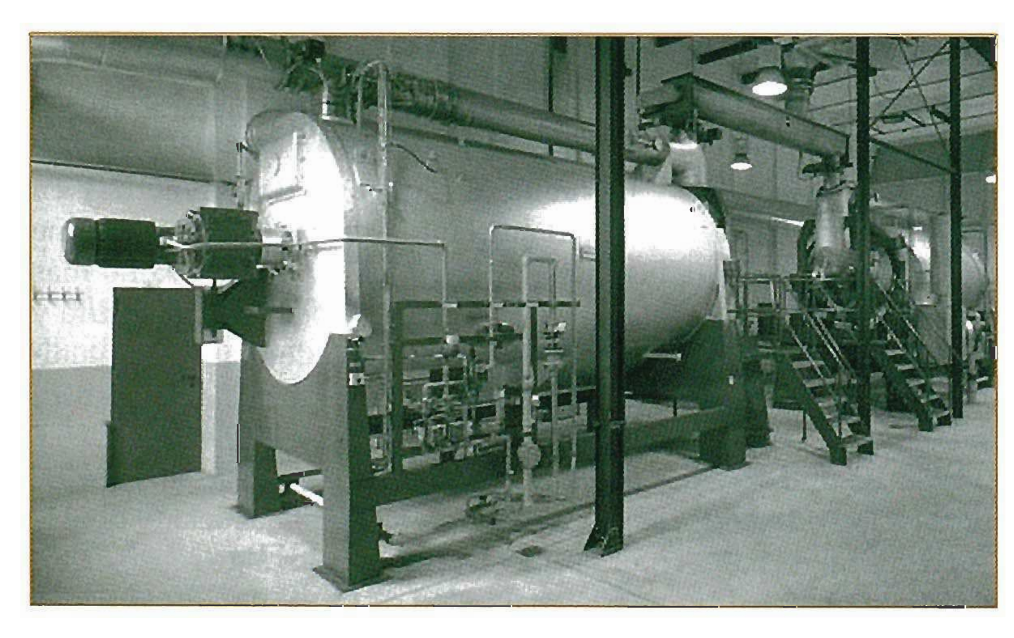


Figura 2.65a
Tambor de tostación para caramelización y tostación (Photo: Mich. Weyermann Malzfabrik, Bamberg)

ción (Figura 2.65 a). En esto, primeramente se fluidifica el contenido de grano a temperaturas de 70 a 80°C [243]. Luego se incrementan las temperaturas en el tambor de tostación, en el término de 1,5 a 2 horas, a 180 a 210°C y se las mantiene hasta alcanzar la profundidad de color deseada:

- en Carahell® 20 a 40 EBC (8 a 15,5 Lovibond),
- en Caramünch® 80 a 160 EBC (30 a 60 Lovibond).

El contenido de agua disminuye en este proceso a 6 a 7%.

Las variedades de malta Carared® y otras reciben, por medio de un proceso de fabricación especial, un brillo rojizo y un aroma típico, que sirve para la intensificación y estabilización del sabor. La malta Carared® es, con 40 - 60 EBC (15,5 - 23 Lovibond), más pálida que la Caraamber®, con 60 - 80 EBC (23 - 30 Lovibond). La Caraaroma® es, con una profundidad de color de 300 - 400 EBC (113 - 150 Lovibond), notablemente más oscura que la Caramünch.

La malta Carahell se utiliza en cervezas de festividades y en cervezas nutricionales para aumentar el cuerpo y mejorar la estabilidad de la espuma. La malta Caramünch se utiliza en cervezas oscuras de festividades y en cervezas nutricionales.

Las maltas Carared y Caraamber se utilizan en hasta un 25% de la cantidad de carga de materias primas, en particular para la fabricación de Ale (Red Ale, Amber Ale, Brown Ale), Red Lager, Alt o Lager; la malta Caraaroma en hasta un 15% de la carga de materias primas para cervezas oscuras como Amber Ale, Dark Ale, Stout o Porter.

La malta muy pálida Carapils® y la Carafoam® únicamente son sacarificadas en el tambor de tostación, debido al color de 3,5 a 5,0 EBC, y secadas posteriormente en el tostadero, con temperaturas de 60 a 65°C, hasta un contenido de agua de 6 - 7%. Esta malta muestran solamente una reducida carga térmica, debido a la breve fase de tostación. Utilizando hasta un 15% se incrementa el cuerpo y la estabilidad de la espuma. En las cervezas ligeras y en las cervezas libres de alcohol puede añadirse hasta un 30%.

Las maltas caramelo se fabrican en varios tonos de color. Ellas contribuyen de forma considerable al aumento del cuerpo, la intensificación del aroma de la malta, al sabor lleno, al color profundo de la cerveza y a la estabilidad de la espuma.

2.9.6 Malta agria

La malta agria se fabrica a partir de malta verde germinada normalmente, que es rociada con una solución de ácido láctico o remojada en esta última y que posteriormente es curada. En este proceso, el ácido láctico se concentra en la malta al 2 a 4%. El valor pH de la malta agria es 3,4 a 3,5, el color 3,5 EBC. Debido al agregado de malta agria en hasta un 10% de la carga de materias primas, se reduce un poco el valor pH en la maceración y se aumenta la amortiguación. Pero esta acidificación se logra hoy en día mejor y de forma más confiable con una acidificación biológica en la sala de cocción.

Las maltas agrias se utilizan hoy en día ya solamente para la fabricación de algunas cervezas especiales:

- en las cervezas ligeras, se puede lograr con esto un aumento en el cuerpo y que contribuya a una nota especialmente suave, sobre todo en combinación con un agua dura de maceración. Por lo general, se requiere aquí de 6 a 9% de la carga de materias primas de la malta,
- en las cervezas libres de alcohol, cuya fermentación se restringe, se la utiliza para obtener un sabor a malta más favorable. Pero en esto se requieren mayores cantidades de malta agria o acidificación biológica, para poder acercarse a un valor pH de 4,5,



- en las cervezas de malta, se la utiliza para reducir el valor pH.

2.9.7 Malta de germinación breve y tipo Spitzmalz

Las maltas de germinación breve y las tipo Spitzmalz son tipos de malta que se caracterizan por una muy corta duración de germinación y que, por este motivo, muestran también todas las desventajas de una malta muy poco modificada (problemas de filtración de mosto, de filtración de cerveza, etc.). En la malta tipo Spitzmalz se interrumpe la germinación ya al final del remojo, al quebrar la base del grano. En la malta de germinación breve se interrumpe la germinación después de tres a cuatro días de duración de la misma. Correspondientemente, la pérdida por malteado se reduce a un 1,5 a 2,5% para la malta tipo Spitzmalz y a un 4,5 a 5 % para la malta de germinación breve. Se las utiliza muy poco, y en caso positivo, solamente para aprovechar sus ventajas:

- mejora de la estabilidad de la espuma,
- cuerpo poco acentuado, y
- reducido sabor con aroma a malta.

Dado que estas maltas presentan una modificación aún muy baja, se las puede utilizar únicamente en combinación con un proceso de maceración muy intensivo.

2.9.8 Malta ahumada

La malta ahumada es una especialidad que se requiere para la fabricación de cerveza ahumada. Para ello, antes del tostado, se deja pasar el humo de virutas quemadas de madera de haya a través de la malta. Las nubes de humo que se depositan así le otorgan a la malta un sabor rasposo, el cual queda en la cerveza ahumada fabricada con esa malta y que es típico de esta cerveza.

2.9.9 Malta diastática

Bajo malta diastática se entiende que se trata de una malta que ha mantenido ampliamente su potencial enzimático por el curado a temperaturas más bajas (poder diastático mayor que 250 WK; ver al respecto Sección 2.8.3.2). Debido a su elevado potencial enzimático, la malta es capaz de mejorar el trabajo de maceración o inclusive de degradar también una parte de carga de materias primas de adjuntos.

2.9.10 Malta torrefacta

La malta torrefacta se utiliza en cantidades de 0,5 a 2% de la carga de materias primas, a los efectos de obtener un color oscuro en la cerveza

Para la fabricación de malta torrefacta se utiliza una malta pálida tostada, perfectamente modificada. El proceso de torrefacción se realiza en un tambor de tostación (Figura 2.65 a). Para ello, la malta tostada es humedecida uniformemente, por inyección de agua y bajo rotación uniforme, a un contenido de agua de 10 a 15% a temperaturas de 70 a 80°C, durante 1,5 a 2 horas.

- Posteriormente, se calienta para el proceso de torrefacción en sí, que es realizado en 1 a 1,5 hora a temperaturas entre 180 y 220 °C. Se forman así substancias acarameladas y otros productos de torrefacción.
- Luego se enfría rápida y uniformemente.

Con el aumento progresivo de temperatura se forman productos con sabor a quemado, que son deseados solamente en pocos tipos de cerveza, como la Stout. Para evitar un sabor a quemado en la malta de color, se inyecta agua de forma controlada, durante el proceso de torrefacción: con el vapor de agua formado se remueven componentes de sabor a quemado volátiles y la malta es desamargada. Para cervezas que deben tener un sabor más suave, se fabrica malta torrefacta a partir de cebada descascarada. Los taninos y las substancias amargantes de la cáscara no pueden afectar entonces el sabor.

Las maltas de color se fabrican con valores de color de 800 a 1600 EBC (Chocolate malt).

Las maltas de color menos coloreadas de 400 600 EBC se comercializan como Coffemalt.

Para cervezas de fermentación alta se utiliza malta de color de trigo, que es fabricada de la misma forma y utilizada en porciones de hasta 1% para cervezas tipo Alt o para cervezas de trigo oscuras.

Dado que la malta torrefacta se utiliza sólo en pequeñas porciones de hasta un máximo del 2% de la cantidad de carga de materias primas, se necesitan pequeñas células de silo separadas para el almacenamiento.

2.9.11 Cerveza de malta torrefacta

Utilizando una elevada porción de malta torrefacta de aproximadamente 40% se puede fabricar una cerveza de malta torrefacta muy oscura, que se caracteriza por un gran poder colorante, que se deja dosificar bien y que puede ser añadida en cualquier momento de la producción. La cerveza de malta torrefacta se fabrica según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

El proceso de maceración es adecuado a la correspondiente variedad de cerveza de malta torrefacta [244] y, luego del cocimiento del mosto con reducida adición de lúpulo y un contenido de extracto del 20 %, se inicia el enfriamiento a una temperatura de inicio de fermentación de 15 a 20°C. La fermentación ocurre con levadura de fermentación baja y está finalizada, con el reducido extracto fermentable, dentro de las 24 horas. Luego, se realiza la filtración a través de kieselgur y de un carbón activado desamargante, hasta un grado de clarificación menor que 1 EBC. En las cervezas de malta torrefacta que contienen maltas cerveceras pálidas, se realiza una estabilización proteica adicional. En un evaporador de flujo descendente por vacío (Figura 2.65 b) se espesa posteriormente de forma cuidadosa la cerveza de malta torrefacta a temperaturas entre 50 y 60°C. La homogeneización y terminación final de las partidas de producción tiene lugar en recipientes especiales de cocción.

Las cervezas de malta torrefacta tienen -según la variedad- una profundidad de color entre 1.000 y 17.000 EBC; el contenido de extracto es en promedio 45 - 50%, pero en algunas variedades se encuentra en 65%. El valor pH de las cervezas de malta torrefacta varía entre 3,5 y 4,5.

El color de las cervezas de malta torrefacta varía entre marrón ambarino, rojimarrón, marrón oscuro, negro café y negro con tinte rojo. Las cervezas de malta torrefacta con tono rojizo son interesantes y deseadas, sobre todo para la fabricación de cervezas con tinte rojo (ver Sección 2.5.1.3).

También desde el punto de vista del sabor, las cervezas de malta torrefacta se diferencian de forma nada despreciable [245]. Las cervezas de malta torrefacta fabricadas a partir de maltas torrefactas de cebada descascarillada se caracterizan por un sabor particularmente suave.

2.9.12 Malta de trigo

La malta de trigo se utiliza para la fabricación de cervezas de trigo, pero también para otras cervezas de fermentación alta, tales como la cerveza Kölsch.

A los efectos de lograr resultados óptimos, se realizaron en los últimos años grandes esfuerzos en el cultivo de variedades adecuadas de trigo cervecero [120]. Dado que, debido a motivos sensoriales en la cerveza, se debería más bien evitar un proceso intensivo de maceración con el trigo, se recurre más a variedades que presentan una reducida modificación proteica y una reducida viscosidad (por ejemplo Estica, Obelisk, Andros, Kanzler, Orestis, Atlantis) [201].

Con respecto a la cebada, el trigo se diferencia en primer lugar por la ausencia de cáscara y por el mayor contenido de proteínas, el cual, bajo determinadas circunstancias, puede causar problemas en el proceso de fabricación de cerveza. Debido a la ausencia de la cáscara, el grano absorbe rápidamente el

agua de remojo, de manera que el tiempo de remojo puede ser abreviado. Se escurre con un contenido de agua de 37 a 38%, pero el contenido de agua debe continuar aumentando hasta un máximo de 44 a 46% durante los siete días de remojo y germinación.

La germinación sucede de forma similar que con la cebada, pero el trigo es más dificultoso de procesar. Debido al riesgo de formación de aglomeraciones, debe voltearse el trigo más a menudo. Las temperaturas pueden ser un poco más bajas que con la cebada, pero deberían ser aumentadas hasta 17 a 20°C el último día de germinación, para favorecer la disolución de la pared celular (citólisis).

Para lograr una impresión aromática típica de cerveza de trigo es preferible una degradación restringida de proteínas. Un bajo suministro de compuestos de nitrógeno en el mosto conduce a cervezas de trigo más vivaces y agradables. Esto es importante, porque en las cervezas de trigo es deseable un espectro más abundante de subproductos de fermentación, lo cual es impedido por una sobreoferta de aminoácidos libres; las cervezas serán en ese caso sin vida e insulsas. Consecuentemente, debe aspirarse a un bajo contenido de proteínas del trigo y bajos valores de nitrógeno soluble [121].

El valor pH del mosto congreso debería ser mejor más alto (pH 6) que más bajo. Pero un valor alto de pH de la malta no implica necesariamente un valor alto del pH de la cerveza.

En algunas variedades se aspira a un inicio de la germinación a temperatura elevada (19°C), bajo un incremento en etapas del grado de remojo a valores de 45 a 47%, y acto seguido una disminución de la temperatura a 13 a 15°C [201]. Este proceso se impuso en variedades de trigo, que, con valores promedio a levemente elevados de viscosidad en la malta, tienden a una modificación proteica más bien reducida. Por el contrario, la aplicación de esta tecnología en variedades fuertemente modificadoras daría, como resultado, variedades pobres en aroma. Si se debe restringir una degradación muy fuerte de proteínas se reduce la humedad en la malta, con temperaturas en aumento.

Se requiere

- un grado de modificación proteica de 42%, como máximo,
- un FAN en el mosto de 18% del N total,
- una viscosidad menor que 1,65 mPa·s,
- una diferencia molienda fina-gruesa de aproximadamente 1,0% EBC.

El proceso de presecado comienza a 40°C y finaliza a 60°C. Por un curado a temperaturas diferentemente altas, se obtiene *malta pálida de trigo*, que se cura muy rápidamente a 80°C, para evitar un aumento de formación de color. La malta pálida de trigo tiene un color de 3,0 a 4,0 EBC y produce cervezas suaves y burbujeantes, que remarcan el aroma típico a trigo y de fermentación alta *malta oscura de trigo*, que se cura a temperaturas de 100 a 110°C. Con ello se obtiene un color de 15 a 17 EBC. La malta oscura de trigo se utiliza preferentemente para cervezas oscuras de trigo, cervezas tipo Alt y para cervezas oscuras reducidas en contenido alcohólico.

Salvo las variedades estándar, existen también para la malta de trigo todas las variedades especiales que hemos visto para la malta de cebada. Las malterías especializadas ofrecen para ello un amplio surtido.

La composición de la carga de materias primas de malta, por parte de cada una de las variedades de malta especial, es un secreto profesional de cada planta y es cuidadosamente probada y evaluada, a los efectos de obtener el carácter de cerveza deseado. Aparte de ello, existen sin embargo recomendaciones para la utilización de los diferentes tipos de malta, que son presentadas a continuación.

2.9.13 Extracto de malta

Bajo el término extracto de malta se entiende el mosto espesado (ver Sección 3.4).

En tiempos recientes se desarrolló, sobre todo a través de los cerveceros caseros, una demanda creciente de extracto de malta. Algunos cerveceros caseros desean desistir en su casa del proceso de maceración y del costoso proceso de filtración e inician su cocimiento con extracto de malta diluido como mosto de paila llena. Estos extractos de malta son ofrecidos hoy en día por cada vez más negocios especializados.

Para la fabricación de extracto de malta, utilizando maltas bien modificadas, se macera algo más espeso, se filtra y el mosto obtenido es espesado cuidadosamente aproximadamente al 75 a 80% en el evaporador de flujo descendente por vacío a 50 - 60°C. En el vacío baja considerablemente la temperatura de ebullición, de manera que no se pueden formar productos Maillard.

En la concentración se forma un jarabe espeso, con el que se obtiene un mosto dorado-amarillento, luego de una dilución al 12%. Este último puede ser fermentado, luego del cocimiento con lúpulo y del enfriamiento.

La oferta de extractos de malta, en lo referente a sus valores de color y aroma, es muy grande; así hay extracto de malta caramelo, extracto de malta torrefacta o también extracto de malta de trigo.

Por medio de deshidratación en una planta de secado por pulverización, se puede producir polvo de extracto de malta, que tiene un sabor muy dulce y que -de forma similar al algodón de azúcar- se deshace sobre la lengua, desapareciendo. Los extractos de malta también se utilizan en la fabricación de productos de panificación y pastelería, helados, salsas y productos similares.

Para fábricas de cerveza que trabajan a escala industrial, el uso de extracto de malta para la producción del mosto no es tenido en cuenta, por cuestiones de costos.

2.9.14 Malta de otros cereales primarios

También, según la Ley de Pureza Alemana "Reinheitsgebot", está permitida la utilización de otras maltas para cervezas producidas por fermentación alta, aparte de aquella fabricada a partir de la cebada. Aquí se incluye, aparte del trigo, una serie de otros tipos de cereales primarios.

▸ *Escanda común*

La escanda común (también llamada Schwabenkorn) es un tipo de cereal en el que la cáscara permanece con el grano. La escanda común se cultiva en baja cantidad (por ejemplo, en el sur de Alemania).

Los granos cosechados sin madurar se venden en estado seco como grano verde (granos).

La escanda común se puede maltear como el trigo; la malta de escanda común producida a partir de aquélla puede ser utilizada para la fabricación de cerveza de escanda de fermentación alta.

▸ *Emmer*

El emmer es un trigo de cáscara gruesa, cuya espiga presenta sólo dos hileras de granos. Es la forma primitiva del trigo, pero que casi no es cultivada. El emmer es malteado de vez en cuando a malta diastática o muy raramente procesado para cerveza especial.

▸ *Centeno*

El centeno es dificultoso de maltear, debido a su alto contenido de pentosanos. Por ello, las maltas de centeno tienen una viscosidad de 3,8 a 4,2 mPa·s (malta normal de cebada: menos que 1,5 mPa·s).

Se remoja algo menos, hasta un grado de remojo menor que el 40 %; la duración del remojo y la germinación es de aproximadamente siete días. Por lo general, las maltas de centeno son más oscuras que las de cebada. Si se cura la malta de centeno de forma oscura, se obtiene en la cerveza fabricada a partir de aquélla un sabor manifiesto a pan o a corteza del mismo.

Las cervezas de centeno sólo tienen una importancia local, pero su perfil interesante de sabor puede ser utilizado para cervezas especiales.

▸ *Triticale*

Bajo el término triticale se entiende una cruza entre trigo (*Triticum*) y centeno (*Secale*). El triticale tiene cada vez más importancia como tipo de trigo poco exigente, con buenas propiedades de resistencia, sobre todo para propósitos de panificación, pero también para la fabricación de malta y de cerveza. Sin embargo, el triticale tiende a un mayor calentamiento que el trigo, a viscosidades altas de mosto y a una degradación extrema de proteínas. Los mejores resultados de malteado se lograron con la variedad Prego.

2.9.15 Malta de sorgo

Para la fabricación de cerveza (turbia) de sorgo se maltea sorgo. Ya solamente en Sudáfrica se fabrican anualmente 160.000 t de malta de sorgo [126], en parte con procesos neumáticos de malteado. Aparte de ello, también se maltea sorgo en los hogares para la fabricación de cerveza. Así y todo, se estima que el consumo de cerveza de sorgo es de 30 millones de hl.

Figura 2.66
Granos de sorgo al inicio del crecimiento
(Foto: P. Seidl, Munich)

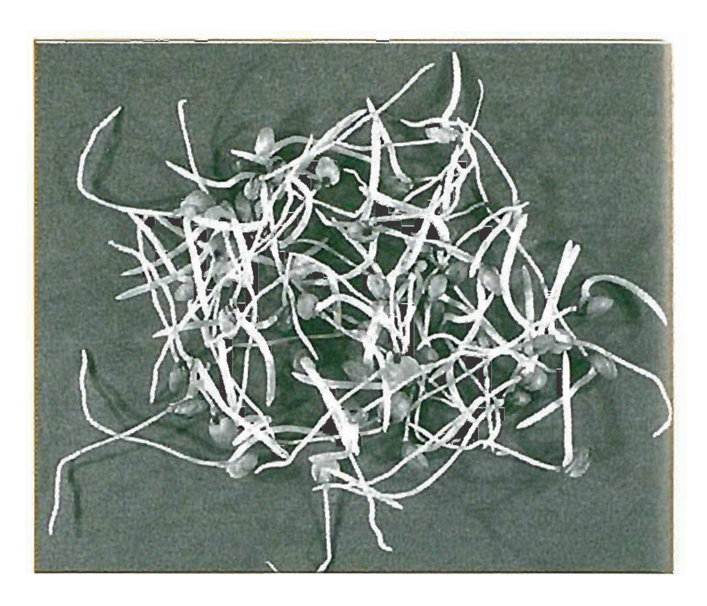


Figura 2.67
Granos de sorgo en crecimiento total
(Foto: P. Seidl, Munich)

Dado que el potencial enzimático del sorgo es menor que el de la cebada, se debe remojar intensivamente a temperaturas de 27 a 30°C, con frecuentes cambios de agua, durante 17 a 21 horas [163]. La germinación del producto en germinación ocurre a temperaturas de 17 a 21°C, aireándoselo y humedeciéndoselo mucho, a los efectos de obtener una humedad en el producto en germinación del 52 al 58%. En esto, el grano de sorgo crece muy intensivamente, el crecimiento de la raíz es pronunciado (Figura 2.66) y las raíces se enredan de forma extrema (Figura 2.67), aun durante el presecado. Por este motivo, debe realizarse el volteo también en el tostadero, para evitar un afieltramiento ulterior de las raicillas.

La actividad de la β-amilasa de la malta de sorgo es un 25% menor que la de la malta de cebada. La malta de sorgo tiende, por el con-

trario, a un mayor contenido de polifenoles y proteínas.

En una serie de países africanos, por ejemplo Nigeria, se fabrica cerveza únicamente a partir de malta de sorgo, dado que está prohibida la importación de malta de cebada. Por motivos climáticos, en muchas regiones es imposible el cultivo de la cebada. Aparte de esto, la oferta de sorgo es suficientemente grande en muchas regiones. Junto con la malta de sorgo, se procesa en algunos países el sorgo sin maltear, como adjunto.

2.9.16 Utilización de tipos de malta para diferentes variedades de cerveza
(según Narziß) [24]

Tipo de cerveza	Color EBC	Tipos de malta	(Color EBC)	Porción en %
Pilsner	6-7	Malta Pilsner	(3,0)	100-95
		Cara-Pils	(4,0)	4-5
Clara	8	Malta pálida	(3,5)	100-95
		Cara-Hell	(25)	hasta 5
Export	12	Malta pálida		
	o	Malta Pilsner		
		Cara-Dunkel	(120)	hasta 1
Oscura	50-60	Malta oscura	(15)	90
		Malta pálida	(3,5)	9
		Malta de color		1
	o			
		Malta oscura	(15)	40
		Malta oscura	(25)	40
		Malta pálida	(3,5)	14
		Cara-Dunkel	(120)	5
		Malta de color		1
	o			
		Malta oscura	(15)	50
		Malta escaldada	(35)	30
		Malta pálida	(3,5)	19
		Malta de color		1
Märzen	30	Malta Viena	(5,5)	90
		Malta pálida	(3,5)	10
	[event.	Cara-Hell	(25)	10]
	o			
		Malta oscura	(15)	70
		Malta pálida	(3,5)	30
	[event.	Cara-Dunkel	(120)	5]
	o			
		Malta oscura	(15)	50

Tipo de cerveza	Color EBC	Tipos de malta	(Color EBC)	Porción en %
	o			
		Malta pálida	(3,5)	30
		Malta escaldada	(35)	20
		Malta oscura	(15)	100
Weizen	12	Malta de trigo		50-90
(trigo)		Malta pálida	(3,5)	Resto
	o			
	12	Malta de trigo		70
		Cara-Hell	(25)	5
		Malta pálida	(3,5)	25
	o			
	12	Malta de trigo		70
		Malta oscura	(15)	15
		Malta pálida	(3,5)	15
	o			
	40	Malta pálida de trigo		60
		Malta oscura	(15)	40
		(Malta de color	0,5)	
	o			
	40	Malta pálida de trigo		40
		Malta oscura de trigo		30
		Malta oscura	(15)	30
Alt	35	Malta pálida	(3,5)	99
		Malta de color		1
	o			
		Malta oscura	(15)	90
		Malta pálida	(3,5)	10
	o			
		Malta pálida	(3,5)	85
		Cara-Dunkel	(120)	15
	o			
		Malta oscura	(15)	50
		Malta escaldada	(35)	50
Kölsch	10	Malta pálida	(3,5)	95
		Cara-Hell	(25)	5
	o			
		Malta pálida	(3,5)	85
		Malta Viena	(5,5)	15
Libre de alcohol	8,5	Malta pálida	(3,5)	70
(7,2%)		Malta oscura	(15)	15
		Cara-Hell	(25)	15
	o			
		Malta pálida	(3,5)	40

Tipo de cerveza	Color EBC	Tipos de malta	(Color EBC)	Porción en %
		Malta oscura	(15)	10
		Cara-Hell	(25)	15
		Malta Viena	(5,5)	30
		Malta agria		5
	o			
		Malta pálida	(3,5)	70
		Malta Viena	(5,5)	23
		Cara-Dunkel	(120)	2
		Malta agria		5

2.10 Protección contra accidentes en la maltería

En la maltería existe una serie de posibles causas de accidentes, incendios o explosiones, a través de las cuales pueden sufrir daños tanto personas como equipos. Se detallan aquí algunas causas fundamentales.

Pueden surgir causas de accidentes en el área de los dispositivos de transporte. Para ello, se dispuso una serie de reglamentaciones en la Ordenanza (alemana) de Prevención de Accidentes VBG 10 -Transportadores continuos- de la Cooperativa Federal Alimentos y Restaurantes:

Al respecto dice en el § 4:

En el caso de transportadores continuos, los tambores, ruedas y rodillos, en los cuales hay órganos de tracción que son desviados o cambiados de dirección -así como ruedas dentadas de cadena-, deben estar asegurados de manera tal, que las personas no puedan alcanzar los puntos de contacto.

En los transportadores con cangilones, las aberturas de vaciado en la base del transportador con cangilones deben estar ubicadas o dispuestas, según el § 27, de manera tal, que el producto de carga caiga hacia abajo en la descarga y que sea posible un vaciado sin riesgos, en el caso de obstrucciones.

Para transportadores por tornillo sinfín, el § 33 (1) prescribe

que deben estar cubiertos y que la cubierta debe estar asegurada con tornillos o con una bisagra, en combinación con una cerradura. Las cubiertas transitables deben tener suficiente capacidad portante.

Los §§ 34 a 37 de la Ordenanza se ocupan de la prevención de accidentes en el área de transportadores neumáticos. Aquí es particularmente importante que las esclusas de rueda celular dispongan de tubuladuras suficientemente largas u otros dispositivos de manera tal de asegurar que nadie pueda introducir las manos en la esclusa. Esto incluye, también, que las tapas de los correspondientes agujeros de revisión estén cerradas.

Es especialmente problemático el ingreso a los silos, lo cual es necesario realizar de vez en cuando, por diversos motivos. En Alemania, la Ordenanza de Prevención de Accidentes VBG 112 -Silos- da para ello una serie de instrucciones de ejecución.

El § 5 (1) dice al respecto

que las aberturas en techos y paredes, a través de las cuales se puede entrar a pie o con vehículo, deben ser equipadas con dispositivos de seguridad contra el ingreso no permitido por escalera o con vehículo.

El § 14 dice al respecto:

(1) Las personas aseguradas que entran en silos deben estar atadas con cuerda hasta que hayan salido nuevamente.

(2) El supervisor debe asegurarse, según § 13 Párrafo 1, que

- las personas aseguradas que entran en silos, deben estar sostenidas por fuera con cuerda tensa hasta que hayan salido nuevamente, y

- la cuerda está fijada adicionalmente fuera del silo.

(3) Desviándose del párrafo 1, las personas aseguradas pueden entrar en silos no totalmente vaciados, desde abajo o a través de aberturas laterales cercanas al piso, sin estar aseguradas con cuerdas, en el caso de que no corran riesgo por parte del contenido.

(4) No se pueden utilizar escalas de cuerda para entrar.

Hay un gran riesgo de accidentes en la maltería al entrar en las instalaciones de germinación y de tostado. Si es realmente necesario entrar en la caja por motivos técnico-operacionales, debe asegurarse de que el volteador o el aparato de carga y descarga estén desconectados y que durante ese tiempo no se puedan poner nuevamente en servicio (desenroscar el cartucho de fusible y guardarlo personalmente; sacar la llave de funcionamiento del puesto de control por el tiempo que dure la inspección). Los accidentes suceden aquí por lo general porque las personas aseguradas consideran que un aparato tan lento no puede causar ningún daño, dado que se lo puede esquivar fácilmente. Pero si la persona asegurada es agarrada por una parte de su vestimenta o por sus cabellos, ya no se puede imponer contra la máquina de alta potencia. ¡El resultado es por lo general catastrófico!

En la maltería existe un considerable riesgo de explosiones por polvo. La peligrosidad de los polvos radica en que casi cualquier substancia sólida inflamable, en concentración suficiente con el aire, tiende a detonar o explotar. Estas mezclas de polvo y aire se encienden a temperaturas mayores que 400°C. Pero si el polvo se encuentra como capa fina sobre chapas calientes o piezas sobrecalentadas, se enciende también ya a temperaturas menores que 200°C. Las concentraciones críticas de explosión en las materías se encuentran entre 20 y 2000 g de polvo/m3, si el polvo es lo suficientemente fino (menor que 100 μm). De particular riesgo de explosión en la maltería son

- las instalaciones de remoción de polvos,
- los silos y los depósitos, y
- los elevadores con cangilones sobrecalentados.

Como medios para la prevención de explosiones por polvo deben utilizarse:

- control del desarrollo de polvos y remoción continua y a fondo del polvo; de esta manera se contrarresta la formación de una atmósfera con peligro de explosión,
- evitar superficies calientes, formación de chispas y fuego abierto, y
- medidas constructivas, que restrinjan el efecto de una explosión a un límite que no cause daño.

En la maltería existe también elevado riesgo de incendio. Esto no sólo concierne los incendios causados por explosiones, sino sobre todo las malterías más antiguas, que poseen muchas construcciones de madera y, especialmente, los tostaderos más antiguos, que aún son operados con carbón o los modernos, operados de forma directa con gas natural o petróleo. Por eso, el tostadero está separado del resto de la maltería por medio de puertas protectoras contra incendios.

El riesgo de incendio consiste, en primer lugar, en que las raíces y partículas de polvo, caídas a través de la bandeja, pueden comenzar a arder sin llama. Es por eso importante que las raicillas que se acumulan en la cámara colectora de raicillas secas sean extraídas por lo menos una vez por semana.

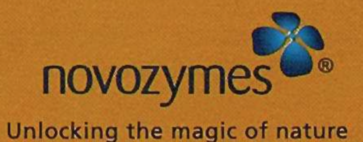


La clave para una industria cervecera eficaz e innovadora

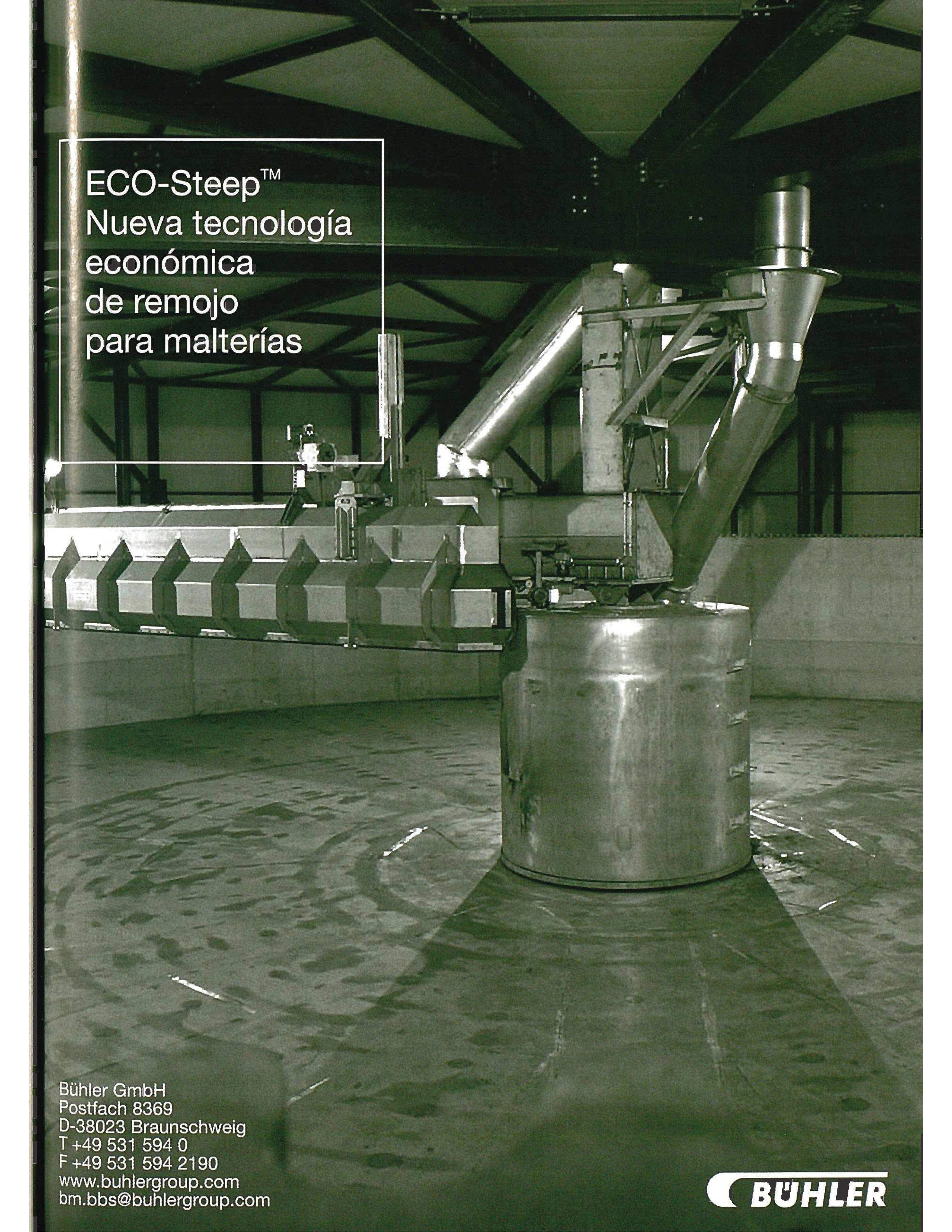
Las enzimas son una ayuda para que el proceso de fabricación de cerveza, con frecuencia imprevisible, sea más sencillo, asegurando una cerveza consistente y de alta calidad en todos los pasos. Nuestros expertos en fabricación de cerveza ofrecen soluciones eficaces e innovadoras para mejorar sus procesos, e incluso para ampliar su cartera de productos. ¿Qué pueden hacer las enzimas por usted?

Pueden hacer frente a las fluctuaciones en la calidad y comportamiento de la malta, acortar el tiempo de maduración para conseguir fabricar más cerveza cada día, optimizar la extracción y reducir el tiempo de maceración y los costes en materias primas. También tendrá un mayor control de atenuación, lo que le permite conseguir objetivos específicos o incluso nuevos tipos de cerveza como por ejemplo cervezas con bajo contenido en carbohidratos. Con ventajas como éstas, no es de extrañar que Novozymes sea el líder mundial en enzimas y microorganismos basados en biotecnología para la industria cervecera.

Una clave. Muchas soluciones.



Novozymes A/S · Krogshoejvej 36 · 2880 Bagsvaerd · Denmark · Tel. +45 8824 9999 · Fax +45 8824 9998
For further information, please visit the Customer Centre at www.novozymes.com



Investigación y desarrollo



Materias primas/biotecnología

Fundamentos genéticos para las diferencias en la actividad LOX que dependen de la variedad; Espectrocopía de Infrarrojo Cercano: análisis de grano individual malta/cebada, ensayo rápido de micotoxinas fir@vlb-berlin.org



Agua y aguas residuales

Desarrollo de un método basado en PCR para la identicación de microorganismos para el monitoreo del estatus higiénico del agua, Relaciones entre calidad del agua y procesos de desinfección o procesos de tratamiento fiwat@vlb-berlin.org



Análisis químico-técnicos

Estudios sobre la retención de espuma en cerveza, prueba forzada para el pronóstico de la estabilidad no biológica de la cerveza, Ensayo y desarrollo de equipos de laboratorio labor@vlb-berlin.org



Microbiología

Secreción de proteinasa A en levaduras de cerveza, agentes de desinfección en la fábrica de cerveza, influencia del cinc sobre el crecimiento de la levadura, procedimientos de conteo de células de levadura labor@vlb-berlin.org

Tecnología cervecera

Estabilidad de sabor de cerveza, método ESR para la determinación del potencialb antioxidativo de la cerveza, biochips para el monitoreo de levaduras de cerveza fbm@vlb-berlin.org



Maquinaria, equipos, aparatos y productos afines / Embalaje

Comparación de máquinas lavadoras de botellas, problemática de la medición de oxígeno, comparación de llenadores de tubo corto/tubo largo fmv@vlb-berlin.org

Etiquetado (resistencia al agua de condensación, comportamiento de las etiquetas en el desprendimiento), botellas de plástico (permeación, pasteurización) vp@vlb-berlin.org



Logística de bebidas

Aplicaciones RFID, seguridad de carga, sistemas de paletas fim@vlb-berlin.org

3 Fabricación del mosto

El proceso principal en la fabricación de cerveza es la fermentación del azúcar contenido en el mosto, para obtener alcohol y dióxido de carbono. A los efectos de crear las precondiciones para ello, es necesario convertir, con ayuda de las enzimas formadas, los componentes inicialmente insolubles de la malta sobre todo en azúcares fermentables. La conversión y disolución de estos componentes es el propósito de la fabricación de mosto. Con esto se logra el punto de partida para la fermentación del mosto en la bodega de fermentación y maduración.

La fabricación del mosto tiene lugar en la sala de cocción (Figura 3.1).

La malta llega desde un silo de malta (1) al molino triturador de malta (2), en el que es triturada de forma adecuada.

En la sala de cocción, la malta triturada es mezclada con agua (macerada) y se la degrada en una paila de maceración o en dos recipientes de maceración (3), la cuba de maceración y la paila de maceración, para obtener tanto extracto soluble como sea posible. A veces se agrega una caldera de cocción de adjuntos como recipiente adicional, para el procesamiento de los adjuntos macerados con la malta.

En el equipo subsiguiente de filtración de mosto (4), la cuba de filtración o filtro de templa, se separan los extractos solubles del mosto de las substancias insolubles, las heces, también denominadas "afrecho".

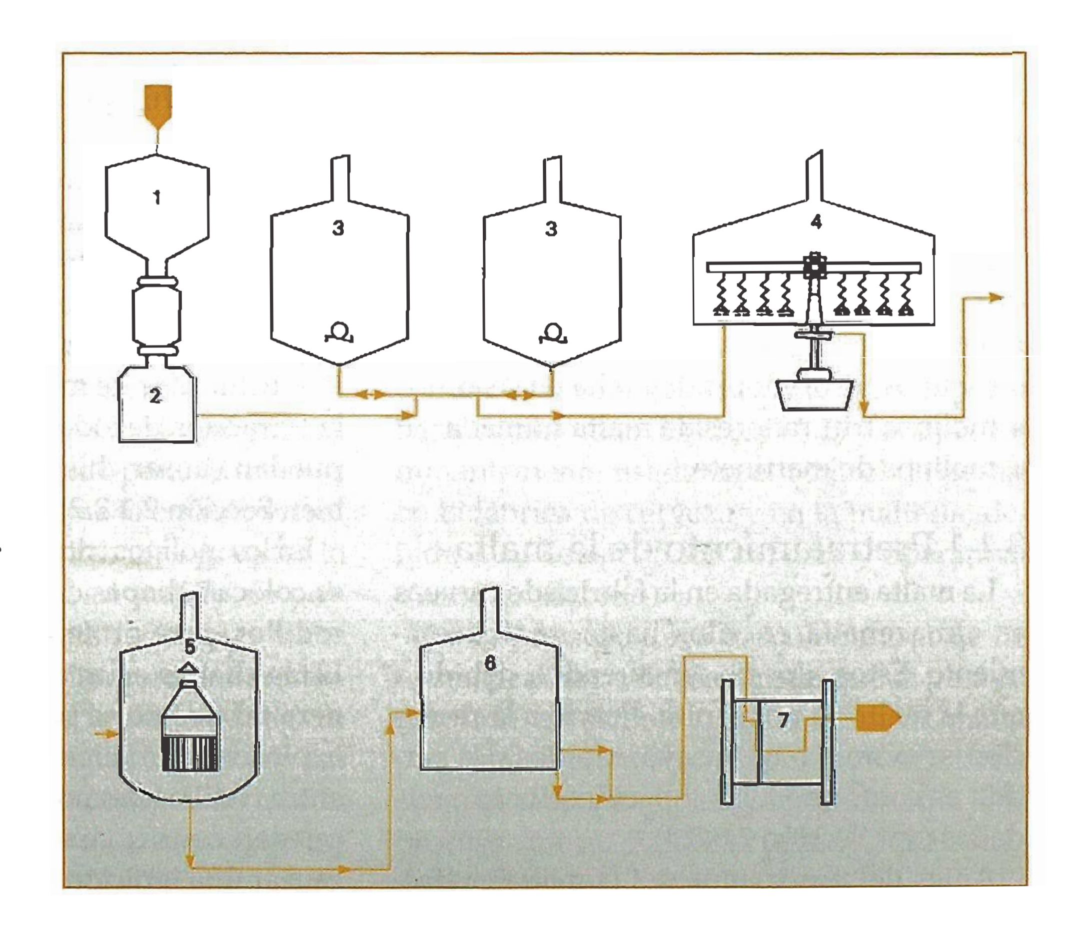


Figura 3.1
Fabricación de mosto
(1) tolva,
(2) molino triturador de malta,
(3) recipientes de maceración,
(4) cuba de filtración,
(5) paila de mosto,
(6) whirlpool,
(7) intercambiador de calor de placas

El mosto es cocido con el lúpulo en la paila de mosto (5), otorgándole así el sabor amargo a la cerveza. A través de la determinación del rendimiento de la sala de cocción, se controla la operación de esta última, al final del cocimiento del mosto en la paila.

En el whirlpool (6), el mosto caliente es liberado de las partículas precipitadas, el trub, y se lo enfría en un intercambiador de calor de placas (7), dado que la fermentación subsiguiente debe ocurrir a bajas temperaturas.

3.1 Molturación de la malta

A los efectos de posibilitar a las enzimas de la malta que actúen sobre los componentes de esta última y que los descompongan durante la maceración, la malta debe ser triturada. Este proceso se llama molturación. La cantidad de carga de materias primas utilizada para un cocimiento se denomina carga.

La molturación es un proceso de trituración mecánica, en el que, sin embargo, las cáscaras deben ser tratadas cuidadosamente, dado que se las necesita como material filtrante en la filtración del mosto.

Para la trituración debe tenerse en cuenta una serie de consideraciones. Pero antes de molturar la malta, la cantidad de carga utilizada es pesada con una balanza.

La malta es triturada en el molino triturador de malta. Según el tipo de proceso, se diferencia entre

- molinos trituradores de malta en seco,
- molinos trituradores de malta húmeda
- molinos de martinete.

3.1.1 Pretratamiento de la malta

La malta entregada en la fábrica de cerveza es almacenada en silos hasta su procesamiento. Estos silos no son aireados, debido a que la malta ya no respira. Previo a la recepción, se examina con ensayos rápidos si la partida es conforme a las especificaciones acordadas (ver Sección 2.8.3.3).

Antes del procesamiento, la malta es liberada de impurezas y se pesa la cantidad de carga necesaria para el cocimiento.

3.1.1.1 Extracción de polvo y piedras de la malta

Antes del procesamiento, se remueve el polvo de la malta y se la pasa por un separador seco de piedras (ver al respecto Sección 2.1.2.3), en el cual también tiene lugar una extracción de polvo. Aun a pesar de la limpieza intensiva en la maltería, quedan en la malta terminada pequeñas piedras del tamaño aproximado de un grano, las cuales dañan las estrías en los rodillos del molino triturador, acortando así la vida útil de los rodillos (ver Sección 3.1.3.5).

Una necesidad adicional es la extracción de todas las piezas metálicas por medio de un imán, el cual usualmente está intercalado antes del molino. Aun a pesar de una intercalación de imanes en varias posiciones, casi siempre llegan piezas metálicas (clavos, tornillos etc.) a la malta, que no sólo dañan los rodillos, sino que también pueden causar explosiones por polvo, como resultado de la formación de chispas.

El polvo formado inevitablemente en el molino triturador de malta en seco es explosivo en determinadas concentraciones y puede destrozar el molino. Consecuentemente, deben tomarse todas las precauciones posibles para impedir tales explosiones por polvo en el molino triturador de malta en seco. Esto incluye la extracción de todas las piezas metálicas que puedan causar chispas (ver al respecto también Sección 2.1.2.2).

En los molinos trituradores de malta en seco, se colocan chapas de explosión debajo de los rodillos, para protección contra explosiones. Estas chapas acumulan la molienda de manera tal que no se pueda formar una mezcla explosiva de molienda y aire debajo de la luz entre rodillos de molienda. Justo en esa zona pueden ocurrir chispas, pero esto no puede causar una ignición. Sin embargo, es precon-

ición que las chapas sean colocadas nuevamente luego del control de la luz entre rodillos de molienda, dado que a primera vista estas chapas aparentan no cumplir función alguna y a veces se las "olvida".

Si a pesar de ello ocurren explosiones por polvo, los molinos trituradores de malta en seco disponen lateralmente, a los efectos de limitar el daño, de un disco de reventamiento, de fácil ruptura, que rompe ante el incremento progresivo de presión, desviando así lateralmente la presión. Pero exteriormente al molino y al edificio, es importante que la presión también pueda ser desviada hacia afuera y por encima de la altura de las personas, para evitar daños personales y materiales.

Aparte de esa descarga de presión, se utilizan hoy en día también [128]

- el alivio de presión de explosión por medio de tubos de sofocación. En estos tubos, la energía cinética de la explosión es convertida en energía térmica. La forma exterior de estos tubos se mantiene, pero las partes internas deben ser limpiadas después de la explosión, y
- la supresión de la explosión. En este caso, un gas ininflamable escapa de unos recipientes a presión, unos pocos milisegundos después del inicio de la explosión, a una presión notablemente mayor, impidiendo así la propagación de la explosión.

La cantidad de polvo de malta formada durante la molturación no es despreciable y se estima en 0,4 a 1,4kg por 1dt de carga [40]. Este polvo debe ser evacuado periódicamente. En plantas más pequeñas se lo embala en sacos, en tanto que las plantas más grandes lo acumulan primeramente en un silo de polvos. El polvo se puede mezclar con las heces y vender, dado que también contiene extractos. Una mezcla directa hacia el silo de bagazo es, debido a la humedad en el sistema de cañerías, al menos problemática, dado que el polvo húmedo se aglomera rápidamente, impidiendo así el pasaje.

Pero también se puede volver a adicionar el polvo a la carga, dado que contiene mucho extracto. La extracción de polvo sirve en primer lugar para proteger la instalación del riesgo de explosión y no se la instala para la limpieza de la malta.

3.1.1.2 Pesaje de la cantidad de carga

La cantidad de carga utilizada para cada cocimiento debe ser registrada de forma precisa. Esto es necesario para nuestro control interno de planta, porque después queremos saber cuán eficientemente fueron utilizadas las materias primas empleadas. Ello se obtiene

- por el cálculo del rendimiento de la sala de cocción (ver Sección 3.5), y posteriormente
- por el cálculo de la cantidad de malta utilizada por cada hl de cerveza.

El control de la cantidad de carga es realizado por balanza automática. De esta última hay dos sistemas en uso, básicamente diferentes:

- *balanzas basculantes, y*
- *balanzas con trampa de fondo*

de tipo mecánico o electrónico.

Además son usuales las cápsulas de medición de presión para el pesaje de recipientes vacíos y llenos. De esta manera se puede pesar también la tolva de molienda completa.

3.1.1.2.1 Balanzas de tolva basculante

La balanza de tolva basculante es la balanza común. Se la construyó durante décadas como balanza automática (Figura 3.2) y era predominantemente usada en el control de pesaje en la fábrica de cerveza y en la maltería, debido a su construcción robusta y operativamente confiable.

La balanza de tolva basculante trabaja de forma periódica, de manera tal que se pesa en una artesa volcable una cantidad de malta precisamente establecida, volcándosela hacia abajo al alcanzar el peso preestablecido. Este proceso, que no puede ser pasado por alto auditivamente, se denomina volcada.

3

La balanza de tolva basculante está construida como romana de brazos iguales. El astil tiene de un lado el recipiente con las pesas ajustadas y del otro lado, como recipiente de pesaje para la recepción de la carga, la artesa volcable.

La malta pasa por la abertura libre a la artesa, que desciende lentamente por ello.

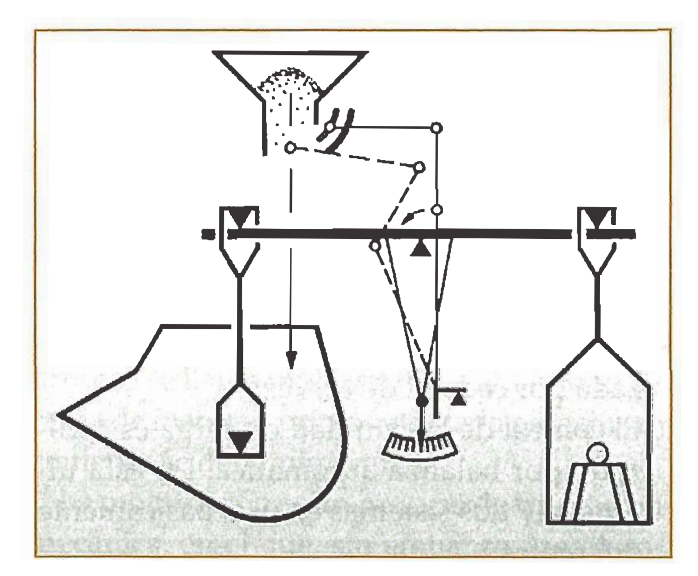


Figura 3.2
Esquema de una balanza de tolva basculante

Debido a esto, el astil cambia de posición; por una transmisión de palancas se restringe primero el suministro de malta, bloqueándoselo luego completamente. Por ello, la balanza de tolva basculante trabaja en varias etapas (Figura 3.3):

La malta ingresa con un chorro grueso y llena la artesa de forma bastante rápida (1).

Cuando ya casi se alcanza la masa de vuelco, la válvula tipo flap se cierra de manera tal que ingresa por corrimiento solamente un chorro delgado de malta hasta alcanzar la masa de vuelco exacta (2).

Al alcanzar la masa de vuelco, la entrada se cierra completamente (3).

La artesa desciende ahora, se vuelca y se vacía hacia abajo (4).

La artesa gira para quedar con la abertura arriba y el proceso de llenado comienza nuevamente (5).

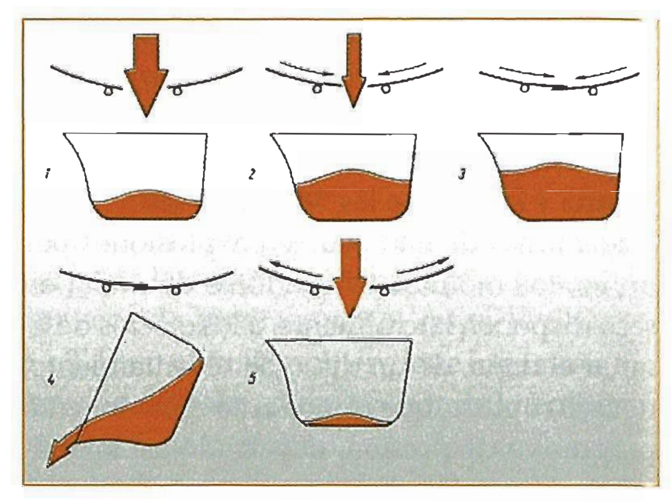


Figura 3.3
Principio de operación de una balanza de tolva basculante
(1) ingreso de la malta
(2) ingreso restringido
(3) ingreso cerrado
(4) vuelco y vaciado de la artesa
(5) retorno a la posición original y apertura de la entrada

Una volcada en las balanzas de molino triturador de malta en seco es de 5kg, 10kg, 20 kg o 25kg, en las fábricas grandes de cerveza también de 50 y 100kg. En el tablero de la balanza se encuentran colocados dos aparatos contadores (Figura 3.3a).

En el contador superior se ajustan las volcadas para el cocimiento, en el contador inferior se registra continuamente la cantidad total pesada.

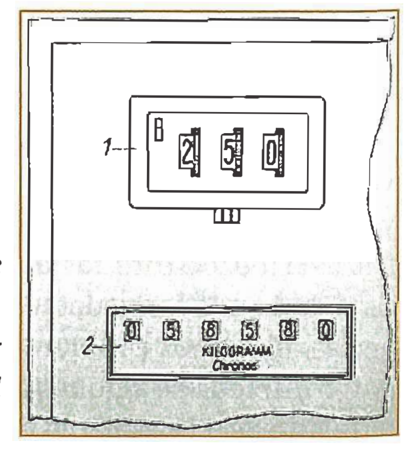


Figura 3.3a
Aparato contador de las balanzas de tolva basculante
(1) aparato contador ajustable de volcadas
(2) aparato contador de la cantidad total pesada

El número deseado de volcadas es ajustado en el contador de ajuste, por medio de pequeñas rueditas manuales, después de haber desactivado una pequeña palanca de bloqueo.

Ejemplo:
Una fábrica de cerveza desea molturar 2200 kg de malta para un cocimiento.
Una volcada en la balanza es de 20 kg.
¿Para cuántas volcadas debe realizarse el ajuste?

$$2200\ \text{kg} : \frac{20\ \text{kg}}{1\ \text{volcada}} = 110\ \text{volcadas}$$

Se debe ajustar para 110 volcadas.

La balanza posee un dispositivo de parada mecánica. Las balanzas basculantes y las balanzas con trampa de fondo son pasibles de ser calibradas y pueden ser equipadas fácilmente con un aparato contador remoto y una salida de impulsos. Se las construye también para grandes caudales másicos (hasta más de 400 t/h).

3.1.1.2.2 Balanzas con trampa de fondo



Las balanzas con trampa de fondo consisten de tres recipientes con trampas de fondo, dispuestos de forma superpuesta, que están conectados entre sí. Dado que exteriormente tienen el aspecto de un tubo, se las denomina también balanzas tubulares. Estas balanzas trabajan según el siguiente principio (Figura 3.4):

Primeramente, se llena el recipiente ubicado más alto.

Prerrecipiente:
Mientras el recipiente de pesaje es pesado y luego vaciado, el prerrecipiente debe recibir la malta que sigue fluyendo. Cuando la balanza registra el peso vacío del recipiente de pesaje, se abre la entrada a este último. La malta acumulada en el prerrecipiente cae en al recipiente de pesaje. Luego continúa fluyendo más malta, a través del prerrecipiente (3), hasta alcanzar la masa establecida, ya predeterminada. Luego se cierra la salida y la malta que continúa entrando se acumula en el prerrecipiente (1 y 2).

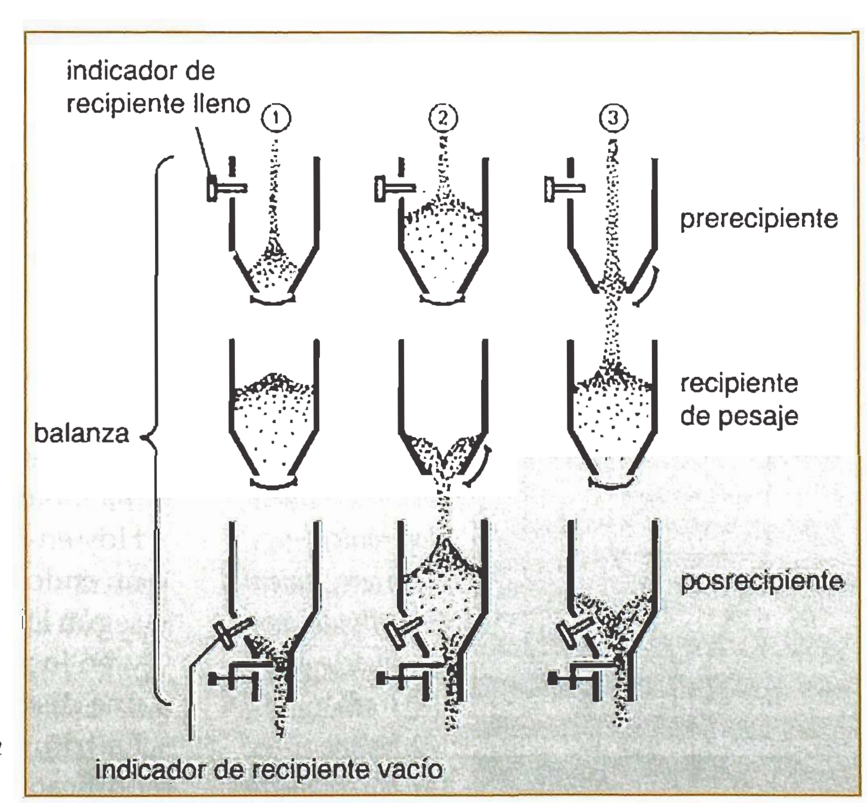


Figura 3.4
Esquema secuencial de una balanza electrónica con recipiente

Recipiente de pesaje:

Luego de la estabilización del recipiente, se inicia el proceso de pesaje, a través del cual se calcula la masa de la malta cargada en el recipiente de pesaje, a partir de la masa del recipiente lleno y de la del recipiente vaciado. Para ello, la balanza requiere dos veces de tiempo de estabilización. Es decir,

- después del proceso de llenado, y
- después del vaciado del recipiente, previo al nuevo llenado.

El cálculo de estas masas, que se diferencian entre sí en cada proceso, es realizado por un ordenador conectado al dispositivo de pesaje de manera tal que se pueda comprobar y ajustar en todo momento la cantidad exacta.

Posrecipiente:

El posrecipiente recibe el producto que sale fluyendo del recipiente de pesaje y es por ello relativamente grande.

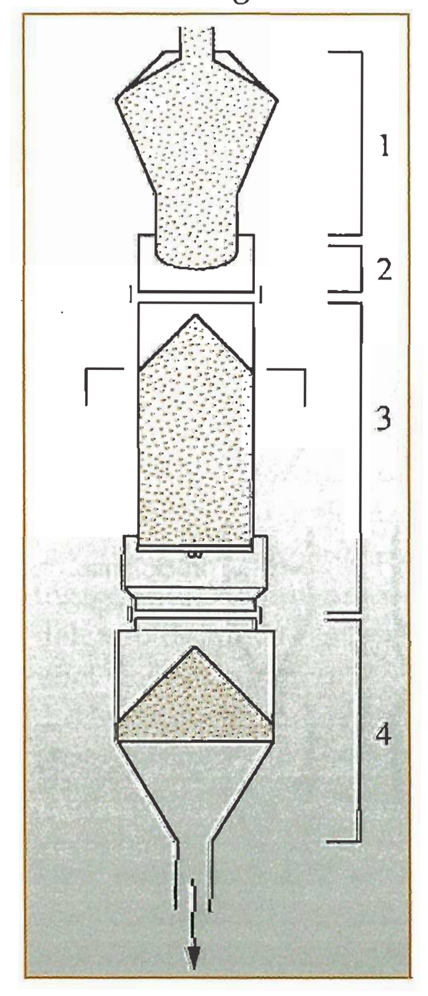


Figura 3.5
Balanza tubular electrónica
(1) prerrecipiente
(2) válvula compuerta de entrada
(3) balanza
(4) posrecipiente

Las balanzas electrónicas cumplen con todos los requerimientos demandados; hoy en día se utilizan en plantas nuevas y grandes casi únicamente balanzas electrónicas (Figura 3.5).

3.1.2 Fundamentos de la molturación

En la maceración, las enzimas deben tener la posibilidad de alcanzar los componentes de la malta, para degradarlos. Para ello, la malta debe ser triturada. Con una trituración progresiva, aumenta la superficie de ataque para las enzimas y mejora la degradación de las substancias. Pero posteriormente a la maceración se realiza la filtración del mosto. Esto es un proceso, en el que se requieren las cáscaras como material filtrante, en dependencia del equipo de filtración de mosto utilizado.

Dado que las cáscaras se requieren para la filtración del mosto, éstas deben ser destruidas lo menos posible durante la molturación. Una cáscara seca se astilla fácilmente y, debido a la formación de pequeñas partículas por el astillado, se reduce fuertemente la capacidad de filtración de la cáscara. Por otro lado, la cáscara será tanto más elástica, cuanto más húmeda se encuentre. Por humedecimiento, la cáscara se hace más elástica y puede ser protegida más fácilmente; de esta manera, el proceso de filtración de mosto se desarrolla de forma más rápida. Este proceso se denomina acondicionamiento.

Pero si se suministra demasiada agua, se humedece todo el contenido de grano, siendo el mismo estrujado fuera de la cáscara durante la trituración. Este proceso se denomina molturación húmeda.

Hoy en día se prefiere usualmente

- un endospermo seco, que se pueda triturar según lo requerido durante la molturación, y, en lo posible,
- una cáscara húmeda y elástica.

La trituración de la malta depende de su modificación:

Una malta mejor modificada no ofrece una gran resistencia al rodillo de molturación durante la molienda, porque el contenido de grano es friable y está flojo. Es por ello que en las maltas bien modificadas se incrementa la porción de harina y sémolas finas. Estas sémolas y harinas de partidas de granos bien modificados están cargadas de enzimas y se dejan disolver bien, posteriormente, en la sala de cocción.

Las puntas de grano mal modificadas y los granos de malta mal modificados son más duros y no se dejan partir tan fácilmente. Esto se nota en una mayor porción de molienda gruesa. Dado que éstos quedaron retrasados en su conversión interna, requieren todavía una fuerte degradación enzimática. Ceden su extracto sólo con dificultad. Por ello, debe esperarse un rendimiento menor si estas sémolas groseras no son degradadas completamente en la sala de cocción:

La molturación debe ser tanto más fina cuanto peor modificada está la malta.

El grado de trituración tiene una influencia decisiva sobre el volumen y la capacidad de filtración de las heces.

Para los equipos usuales de filtración de mosto rige:

Cuanto más fino se moltura, tanto menor será el volumen de las heces.

Pero cuanto más fina es la molienda, tanto menos porosa es la torta filtrante, tanto más rápidamente se contrae y tanto mayor es la duración del proceso de filtración de mosto.

Puede llegar a suceder que el mosto ya no fluya. Es por eso que no se debe moler demasiado fino al utilizar una cuba de filtración de mosto o se debe reducir la altura de heces, si se moltura más fino.

Todo esto no rige si se utilizan filtros de templa modernos, porque la filtración de una capa muy fina de heces es realizada a través de telas de polipropileno con una porosidad muy fina. Por eso, al utilizar estos filtros de templa, se puede triturar muy finamente la malta por medio de un molino de percusión, obteniendo así muy buenos rendimientos.



A partir de 100 kg de malta (= 1dt) se forman los siguientes volúmenes:
1,7 hl de malta
2,7 hl de molienda para cuba de filtración
2,2 hl de molienda para filtro de templa
2,0 hl de volumen de heces en la cuba de filtración de mosto
1,2 a 1,4 hl de volumen de heces en el filtro de templa

3.1.3 Molturación en seco

Los molinos más comúnmente utilizados en las fábricas de cerveza son los molinos trituradores de malta en seco. En éstos, la malta es triturada en seco entre rodillos dispuestos en pares. Según la cantidad de rodillos, se diferencia entre

- molinos de dos rodillos,
- molinos de cuatro rodillos,
- molinos de cinco rodillos, y
- molinos de seis rodillos.

3.1.3.1 Molinos de seis rodillos

El molino de seis rodillos es el mejor tipo de molino y el más frecuentemente utilizado (Figura 3.6). Sus tres pares de rodillos se llaman

- el *par de rodillos de trituración previa* (2),
- el *par de rodillos trituradores de cáscaras* (3), y
- el *par de rodillos de molienda* (4).

Entre los pares de rodillos se encuentra siempre suspendido un juego de tamices vibratorios (5 y 6) con dos aberturas diferentes de malla, que clasifica el material molido del par de rodillos precedente en tres fracciones:

componentes groseros:
- - *cáscaras con sémola adherida* - (7), *respectivamente cáscaras* (10),

componentes medianos:
- - *sémolas* - (8) y

componentes finos:
- - *molienda fina* y *harina* - (9).

La harina es derivada directamente a la tolva de molienda, dado que ya no se la tritura más. Las cáscaras son molturadas en el segundo par de rodillos (3), dañándolas lo menos posible. En el tercer par de rodillos (4) se tritura la sémola, según lo requerido.

Los molinos trituradores de malta modernos de seis rodillos trabajan en su mayoría con posicionamiento de rodillos considerablemente modificado y con una superficie de tamiz agrandada. Como ejemplo, se muestra aquí el molino de seis rodillos "Maltomat" (Bühler, Braunschweig) (Figura 3.7). En el Maltomat, se pasa todo el flujo de malta a través de los primeros dos pares de rodillos, dispuestos en tándem, siendo en este proceso molturadas las cáscaras. El producto molido así obtenido es clasificado en cuatro unidades tamizantes y sólo la sémola es triturada, tan fina como se requiere, en una tercera etapa de molturación.

El motivo de esta disposición en tándem de los primeros dos pares de rodillos es que en los molinos convencionales de seis rodillos se tamiza sólo aproximadamente el 10% de los componentes de molturación en el primer juego de tamices. De esta manera, se obtiene con la duplicación de la superficie tamizante intercalada detrás de los rodillos también un mejor tamizado por reducción de la carga de tamiz, de los 34 a 42kg/dm² usuales a 18 kg/dm². Al mismo tiempo, las carcasas de los tamices son osciladas en direcciones opuestas, por medio de un accionamiento excéntrico, y no transmiten vibración alguna a la máquina o al edificio, contrariamente a lo que sucede con los molinos convencionales.

Con esto se pueden molturar hasta 14 t de malta/h como molienda gruesa de cuba de filtración. Para la evaluación de la molienda, existen directivas concretas (Sección 3.1.6).

Para una primera evaluación, puede regir lo siguiente:

Luego de los rodillos de trituración previa, el "pretriturado" debe mostrar todos los granos con un inicio de rotura; no debe haber granos intactos presentes.

Luego de los rodillos trituradores de cáscaras, la sémola adherida a las cáscaras debe haber sido molturada, sin que sean visibles grandes daños en las cáscaras.

Los rodillos de molienda deben molturar molienda fina y no deben producir harina, porque ésta puede estorbar el proceso de filtración de mosto.

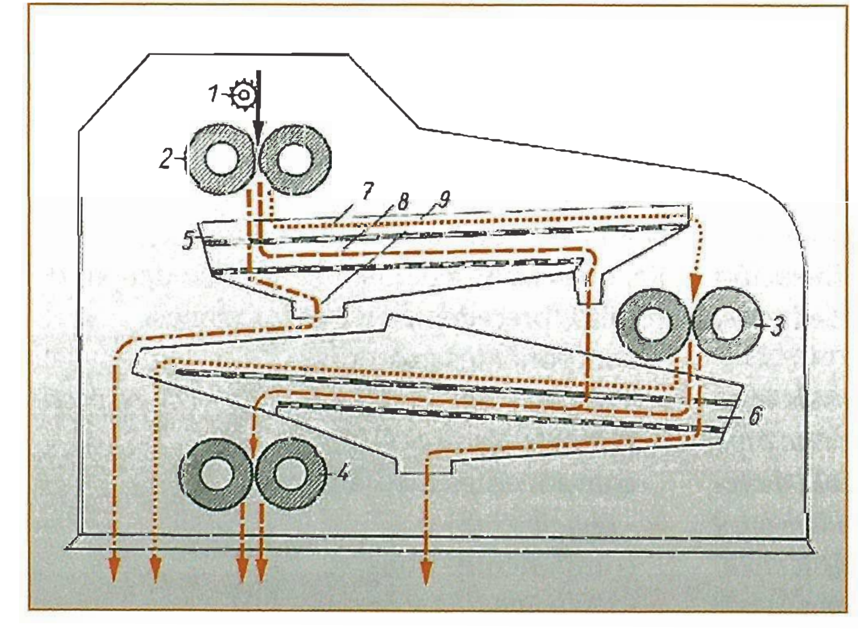


Figura 3.6
Molino de seis rodillos (esquema)
(1) *distribuidor*
(2) *par de rodillos de trituración previa*
(3) *par de rodillos trituradores de cáscaras*
(4) *par de rodillos de molienda*
(5) *juego de tamices vibratorios superior*
(6) *juego de tamices vibratorios inferior*
(7) *cáscaras con sémola adherida*
(8) *sémola*
(9) *harina*
(10) *cáscaras*

3.1.3.2 Molinos de cinco rodillos

El molino de cinco rodillos es, en principio, un molino de seis rodillos, en el que un rodillo asume la función de dos rodillos (Figura 3.8). Un rodillo de trituración previa trabaja también como rodillo triturador de cáscaras. El resto de la forma de operación corresponde a la del molino de seis rodillos. Con los molinos de seis y cinco rodillos, se puede obtener cualquier composición requerida de molienda, con el ajuste adecuado de molino.

Los molinos de cinco rodillos ya no se construyen más.

3.1.3.3 Molinos de cuatro rodillos

Se los encuentra frecuentemente en plantas de tamaño mediano. Poseen dos pares de rodillos, que están dispuestos de forma superpuesta. La molienda pretriturada en el primer par de rodillos, el pretriturado, es

- separada con un juego de tamices intercalado, y sólo los componentes groseros son molturados en el segundo par de rodillos (molino

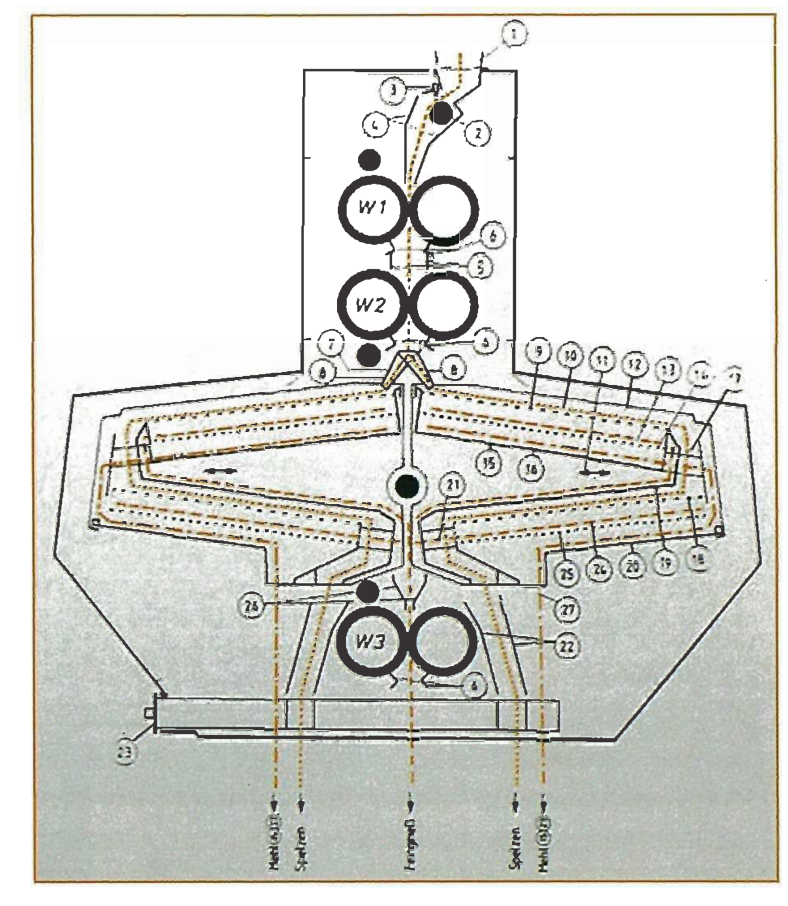


Figura 3.7: Molino de seis rodillos "Maltomat" (esquema)
(Empresa Bühler, Braunschweig)
(W1) par de rodillos de trituración previa, (W2) par de rodillos trituradores de cáscaras, (W3) par de rodillos de molienda; (1) entrada de la malta, (2) rodillo de alimentación, (5) chapas directrices, (6) rascador, (10) molienda, (13+24) sémola, (15+27) harina, (23) toma de muestras

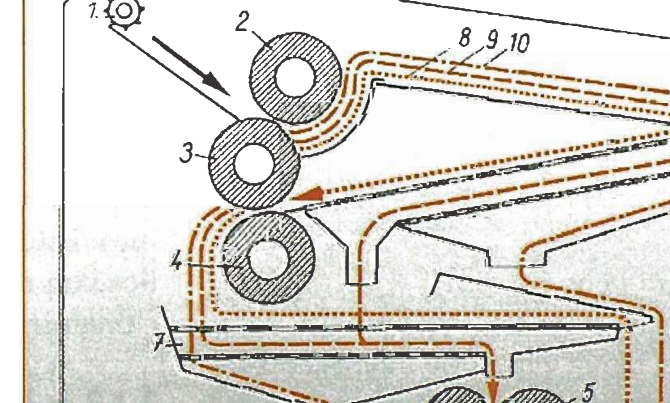


Figura 3.8: Molino de cinco rodillos (esquema)
(1) rodillo distribuidor, (2) rodillo de trituración previa. (3) rodillo de trituración previa y triturador de cáscaras, (4) rodillo triturador de cáscaras, (5) par de rodillos de molienda, (6) juego de tamices vibratorios superior, (7) juego de tamices vibratorios inferior, (8) cáscaras con sémola adherida, (9) sémola, (10) harina, (11) cáscaras

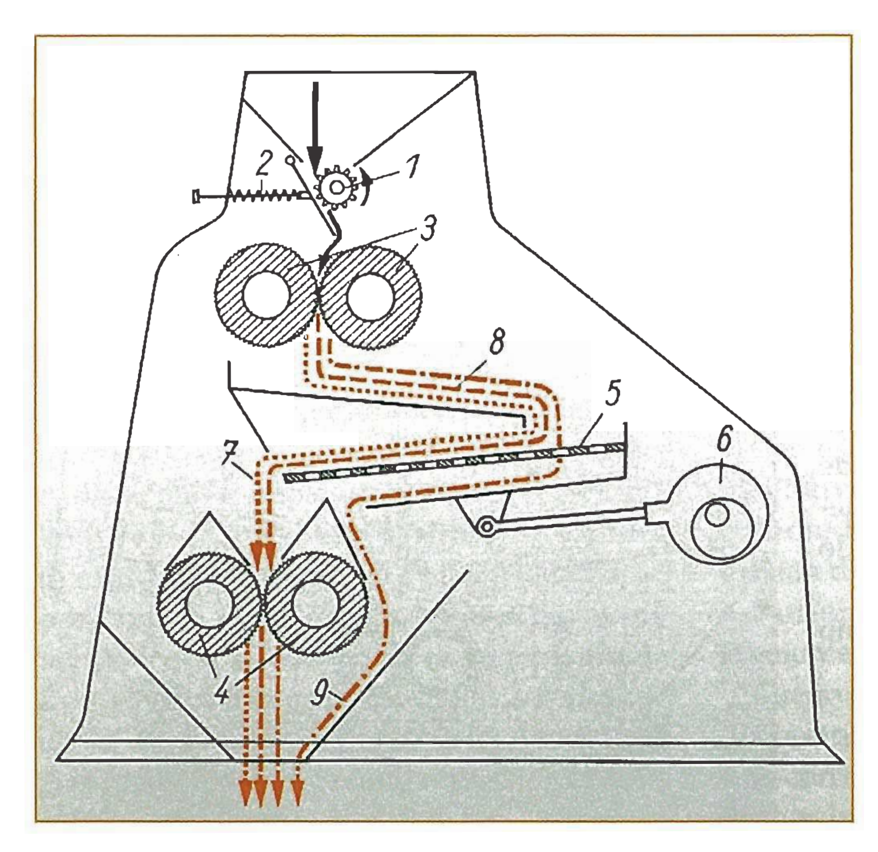


Figura 3.9
Molino de cuatro rodillos (esquema)
(1) rodillo distribuidor
(2) regulador de entrada
(3) par de rodillos de trituración previa
(4) par de rodillos trituradores de cáscara
(5) tamiz vibratorio
(6) accionamiento excéntrico
(7) cáscaras con sémola adherida
(8) pretriturado
(9) harina

de cuatro rodillos con juego de tamices intercalado),

o

- liberada de componentes finos, por medio de batidores rotantes, con el fin de lograr el mismo efecto de molturación (molino de cuatro rodillos con batidores rotantes).

Modo de funcionamiento del molino de cuatro rodillos con juego de tamices intercalado (Figura 3.9). La malta llega, a través del rodillo de alimentación o distribución, al primer par de rodillos y es pretriturada groseramente allí. Este pretriturado está compuesto aproximadamente por

30% de cáscaras con sémola grosera adherida,
50% de sémola, y
20% de harina.

A través del tamiz vibratorio intercalado, los componentes ya finamente divididos, tales como harina y sémola fina, son extraídos y desviados a la tolva de molienda. Las cáscaras son liberadas de la sémola grosera en el segundo par de rodillos. Luego del segundo proceso de molienda, ésta está compuesta aproximadamente por

20% de cáscaras,
50% de sémola, y
30% de harina.

3.1.3.4 Molinos de dos rodillos

Los molinos de dos rodillos para molienda en seco se encuentran únicamente en salas de cocción muy pequeñas y en cervecerías de restaurante. Dado que con un par de rodillos no se puede obtener en la molienda en seco ninguna diferenciación ulterior de la misma, no se pueden lograr con ello rendimientos óptimos. Esto no vale para molinos de dos rodillos con molturación húmeda o con acondicionamiento por remojo.

3.1.3.5 Rodillos de molinos trituradores de malta

La calidad de la molienda depende de forma decisiva de los rodillos de los molinos tritura-

dores de malta. Consecuentemente, el diseño y el posicionamiento de los rodillos entre sí deben satisfacer determinados requerimientos.

Dispositivo de alimentación

Una precondición para una molturación óptima es la alimentación correcta de la malta en la luz entre rodillos de molienda. Esto implica que sobre toda la longitud de rodillo debe ingresar de forma continua un flujo de granos de malta, que compense automáticamente cualquier fluctuación de alimentación.

Para ello, cada molino está equipado con un rodillo de alimentación estriado o ranurado. El estriado del rodillo de alimentación determina, junto con la velocidad periférica y la luz, la cantidad de malta entrante.

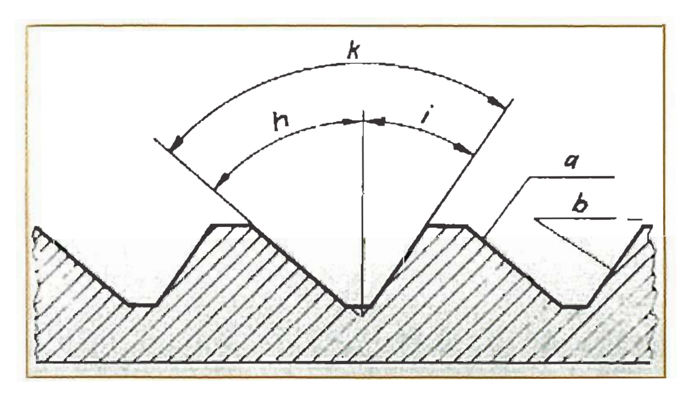


Figura 3.10
Estriado de rodillos
(a) contrafilo, (b) filo cortante, (i) ángulo de corte, (h) ángulo de contrafilo, (k) ángulo de estría

Rodillos

Los rodillos se fabrican hoy en día por fundición centrifugada o por fundición de coquilla. Este tipo de fabricación garantiza una superficie dura, la cual es, naturalmente, necesaria.

Diámetro: por lo general, el diámetro de los rodillos es de aproximadamente 250 mm; no debe ser menor, dado que de lo contrario el ángulo de recepción de los granos es demasiado pequeño y disminuye el rendimiento del molino. Se entiende por ángulo de recepción al ángulo que se forma cuando los dientes agarran el grano.

Estriado: Los molinos modernos tienen siempre rodillos estriados. Estos rodillos tienen 600 a 900 estrías fresadas (Figura 3.10). Por lo general, estas estrías no son paralelas al eje del rodillo, sino que tienen un torcimiento lateral, con lo cual se intensifica su acción de agarre y de corte. Ambos rodillos tienen siempre el mismo torcimiento; éste se encuentra entre 4 y 14% (Figura 3.11). Según las diferentes posiciones de las estrías entre sí, existen cuatro diferentes posibilidades (Figura 3.12), donde la posición "a" siempre es utilizada para los rodillos de molienda.

La relación de velocidades periféricas entre ambos rodillos es aproximadamente 1,25:1 para rodillos estriados. Esta rotación más veloz se denomina avance. En el caso de rodillos lisos, el efecto de molienda se logra por el avance de aproximadamente 1,25:1, por la presión mutua de los rodillos, uno contra el otro, y por una ru-

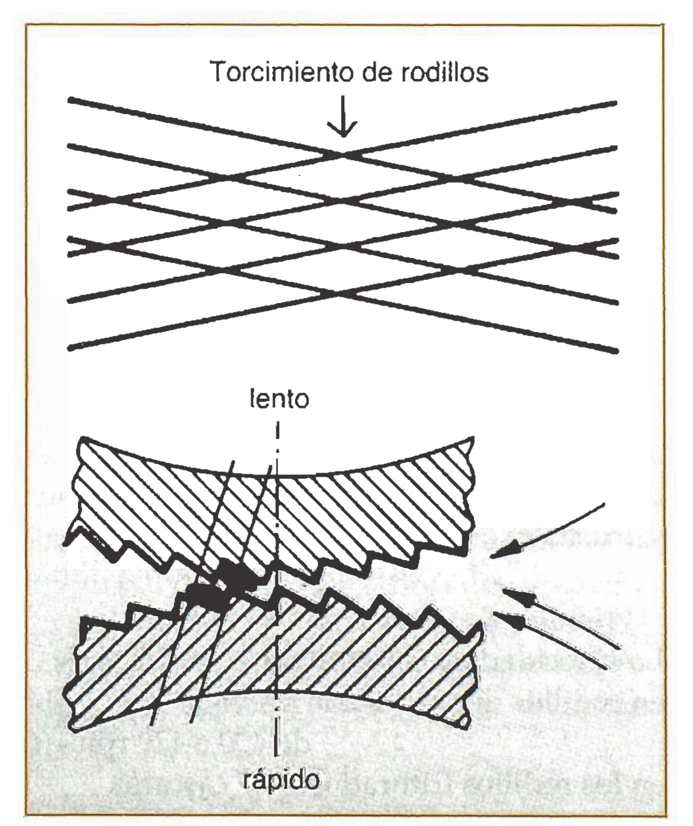


Figura 3.11
Acción de corte de los rodillos estriados

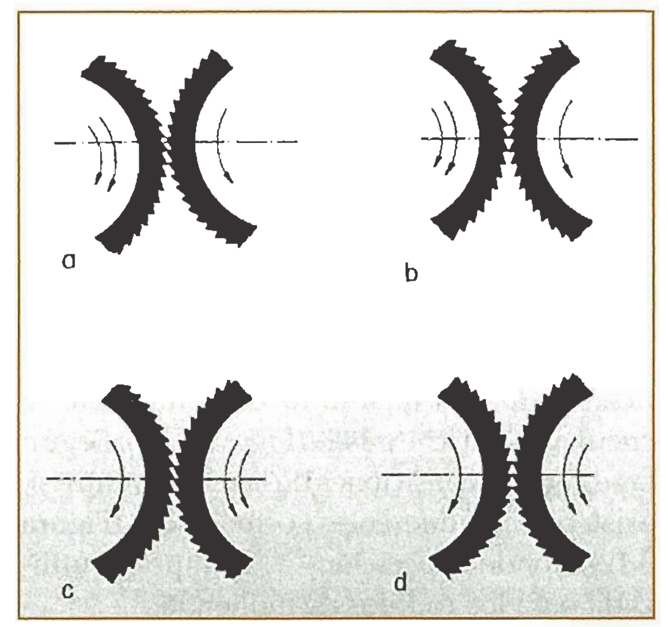


Figura 3.12: Orientación de las estrías
(a) filo sobre filo, (b) filo sobre contrafilo, (c) contrafilo sobre contrafilo, (d) contrafilo sobre filo

gosidad de la estructura superficial de los rodillos. Debido a la presión mutua de los rodillos, uno contra el otro, éstos se flexionan levemente, por lo cual no se puede realizar el mismo trabajo de molienda en la parte media del rodillo que en los bordes del mismo. Un trabajo de molienda absolutamente uniforme se obtiene por medio de una terminación "abombada", de manera que el rodillo sea conificado levemente hacia los extremos.

El estriado de los rodillos es desafilado rápidamente por introducción de objetos duros (piezas metálicas, piedras etc.). Es por ello aconsejable, instalar un separador de piedras antes del molino, aparte del imán ya de por sí existente (Sección 2.1.2.3).

Velocidad de rotación de los rodillos:
La velocidad de rotación de los rodillos es, en rodillos de trituración previa,
de 400 a 420 rpm
en los rodillos trituradores de cáscaras
400 rpm y
en los rodillos de molienda
de 380 a 440 rpm.

La longitud de rodillo es usualmente 0,8 a 1,0 m; puede variar entre 0,4 m, en molinos muy pequeños, y 1,5 m, en molinos muy grandes.

La luz entre los rodillos es ajustable de forma continua entre 0 y 2,5 mm. Se utilizan las siguientes luces entre rodillos:

Molinos de cuatro rodillos:

rodillos de trituración previa	1,3 a 1,5 mm.
rodillos de molienda	0,3 a 0,6 mm.

Molinos de seis rodillos [64]

	Molienda gruesa para cuba de filtración		Molienda fina para filtro de templa		
	seco	orientación de estrías	acond.	seco	orientación de estrías
rodillos de trituración previa	1,6	R:R	1,2	0,9	S:S
rodillos trituradores de cáscaras	0,8	R:R	0,6	0,4	S:S
rodillos de molienda	0,4	S:S	0,4	0,2	S:S

indicaciones en mm, R = contrafilo, S = filo

El ajuste paralelo de los rodillos es esencial para una molturación uniforme. Se lo controla al ajustar el molino, por medio de marcos de ajuste, adaptados al diámetro de rodillos y calibres sonda con sensores de 30 cm de longitud. Se puede efectuar un examen rápido introduciendo una carta: el molino debe tirar de la carta de forma derecha.

El accionamiento de los rodillos: Uno de los rodillos está apoyado de forma fija y es accionado por correa o de forma directa, el rodillo opuesto está apoyado de forma elástica y es

ırrastrado por el primer rodillo: de esta maıera los rodillos no se dañan tanto en el caso le introducción de objetos duros. Los molinos nodernos están equipados con pares de rodilos accionados de forma individual.

El rodillo loco es accionado a través de un par le engranajes y éste determina también el ıvance. Hoy en día los engranajes son, por lo general, de material plástico, sin lubricación.

El rendimiento de los molinos es hoy en día del orden de hasta 14 t/h. Con esto, son capaces de molturar la molienda para todo el cocimiento en menos de una hora. La capacidad instalada de molinos trituradores de malta modernos es aproximadamente

- 2,3 a 2,5 kW/(t·h) en molienda para cuba de filtración

  y
- 3,3 a 3,8 kW/(t·h) en molienda para filtro de templa.

El molino triturador de malta es un lugar de trabajo con mucho riesgo de accidentes. ¡Por ello, debe prestarse mucha atención a las indicaciones y ordenanzas dadas en la Sección 3.1.1.1 respecto de la protección contra accidentes y del riesgo de explosiones!

3.1.3.6 Molturación en seco acondicionada

Cuando las cáscaras están secas, son frágiles y se resquebrajan fácilmente durante la molturación. Pero las cáscaras se necesitan en la filtración del mosto como capa filtrante. Para la protección de las cáscaras, se humedece frecuentemente la malta antes de la molturación en seco. Este proceso se denomina acondicionamiento.

En la molturación en seco acondicionada, se humedece la malta con vapor saturado o agua a 30 a 35°C, uno a dos minutos antes de la molturación. La humedad aumenta el contenido de agua en las cáscaras

- con tratamiento por vapor, en 1,2 a 1,5%,
- con agua caliente, en 2,0 a 2,5%,

en tanto que el contenido de agua en el interior el grano se incrementa solamente en 0,3 a 0,5%.

Se considera ventajoso que

- la cáscara obtenga una estructura notablemente más elástica y que pueda ser molturada mejor,
- que el volumen de cáscaras aumente en un 10 a 20% y se obtenga así una capa de filtración más floja y una mayor velocidad de filtración de mosto,
- aumenten el rendimiento y la atenuación límite (grado de fermentación final), y
- se alcance una reacción normal al yodo más rápida en la maceración.

Solamente es desventajoso el mayor gasto para los aparatos, sobre todo la limpieza del molino triturador de malta.

El volumen formado por molienda y cáscaras aumenta a

- 0,5 a 0,7 hl/dt de malta, en molienda en seco sin acondicionar, y
- 0,8 a 1,0 hl/dt de malta, en molienda en seco acondicionada.

El acondicionamiento de la malta se realiza en acondicionadores. Como ejemplo de ello se muestra aquí el tornillo sinfín acondicionador tipo "Condimat" (Bühler, Braunschweig) [49]. Este acondicionador de malta (Figura 3.13) consiste de una artesa, en la cual la malta es movida por un tornillo sinfín (3). Durante este proceso, la malta es rociada por toberas rociadoras (4) con agua a 30°C. Posteriormente, se logra una distribución uniforme de la humedad por medio del mezclador por paletas (5), de manera que en el término de 1 a 2 minutos la cáscara alcanza la elasticidad deseada para la molturación. El molino triturador de malta intercalado inmediatamente detrás puede entonces triturar la malta tanto como es requerido, con una preservación amplia de la cáscara.

3.1.3.7 Tolva de molienda

Cuando se mezcla inmediatamente la molienda del molino triturador de malta, el pro-

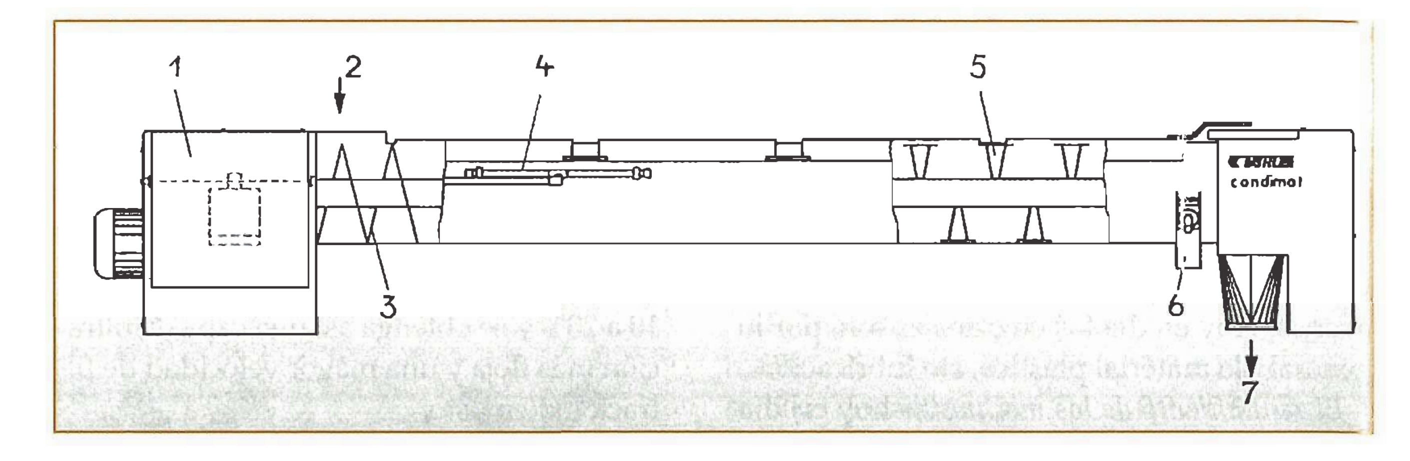


Figura 3.13: Acondicionador de malta "Condimat"
(1) dosificador de agua con caja de distribución, (2) entrada de malta, (3) tornillo sinfín transportador, (4) toberas rociadoras, (5) mezclador por paletas, (6) toma de muestras, (7) salida

ceso de mezcla dura tanto tiempo como la molturación. Pero la mayoría de los molinos trituradores de malta molturan durante un período mayor. Es por ello que la molienda debe ser almacenada transitoriamente.

El almacenamiento se realiza en una tolva de molienda. Ésta es un recipiente con forma de paralelepípedo o de cilindro, con una salida en forma de pirámide o cono, para el vaciado completo. La capacidad de la tolva de molienda debe ser de 3 hl/dt de malta.

La tolva de molienda permite una molturación fuera de los tiempos de consumos pico de energía en la fábrica de cerveza. Para ello, se utilizaban antes frecuentemente varias tolvas móviles de molienda, a los efectos de, por ejemplo, molturar las cantidades de carga para el día siguiente, con energía eléctrica nocturna barata. Hoy en día se moltura directamente antes de la mezcla y se mantiene el tiempo de almacenamiento de la molienda lo más breve posible, dado que

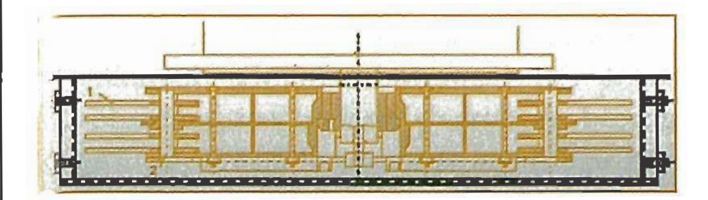
- inmediatamente se inicia un proceso de oxidación (ver Sección 3.2.3.3), y
- se desarrollan microbios, en especial en la molienda acondicionada.

El llenado y vaciado de la tolva de molienda ocurren a través de un control de proceso. En fábricas de cerveza pequeñas o más antiguas, esta función es responsabilidad del molinero de malta o de la persona responsable de la maceración.

3.1.3.8 Molinos de martinete

En los filtros de templa de diseño moderno, la filtración de mosto se realiza a través de telas de polipropileno de porosidad fina, con un espesor de capa de heces de sólo 4 cm. En estos casos, se puede prescindir en gran parte de la cáscara como material filtrante y se puede triturar finamente la malta. Esto es realizado en molinos de martinete.

Con un rotor (Figura 3.14; 1) giran batidores de acero recambiables (2) a una velocidad periférica de 60 a 100 m/s y trituran así los granos de malta hasta que cada partícula pueda pasar a través de las perforaciones del tamiz de molino (3) fijo. Durante esta molturación se forman partículas muy finas y también de aquellas que apenas pasan a través de las perforaciones. El tamaño de perforación de tamiz determina la finura de la molienda y el rendimiento del molino. La alimentación debe ser regulada adecuadamente, para evitar taponamientos. Consecuentemente, el dispositivo de alimentación del molino tiene una importancia especial. A los efectos de obtener un desgaste uniforme, se cambia a intervalos regu-



'igura 3.14
'otor del molino de rotor vertical
'egro = piezas fijas con envoltura de tamiz de molino
'ojo = piezas en rotación con batidores de acero

lares el sentido de giro del rotor en algunos sistemas.

Los molinos de martinete se construyen

- con eje de rotor montado horizontalmente sobre cojinetes o, cada vez más hoy en día,
- con eje de rotor vertical, como molinos de rotor vertical.

Construcción y modo de funcionamiento de un molino de rotor vertical

Un molino de rotor vertical (Figura 3.15) del tipo "Vertica" (Bühler, Braunschweig) consiste de la carcasa de rotor (3) con el accionamiento vertical que se encuentra encima de ésta. El aparato de alimentación con aspiración de contaminantes livianos y extracción adicional de todas las piezas metálicas se encuentra insertado en la alimentación. Debido a la alta velocidad del rotor, es muy grande el peligro de formación de chispas. Además, el tamiz de molino se daña fácilmente.

Por el mismo motivo, se encuentra intercalado antes de la alimentación un separador de productos pesados para la extracción de piedras y otros contaminantes pesados.

Los granos de malta, que entran fluyendo como chorro delgado, son interceptados por los batidores de acero en la carcasa de molienda (ver Figura 3.14), siendo triturados y lanzados a través del tamiz exterior de malla fina. El producto molido es recibido por un embudo y evacuado a través de una esclusa de rueda celular (6). Un disco de reventamiento (5) y un tubo de evacuación (4) derivan hacia el exterior la presión formada, en el caso de una explosión por polvo. Alternativamente se puede utilizar un tubo de sofocación.

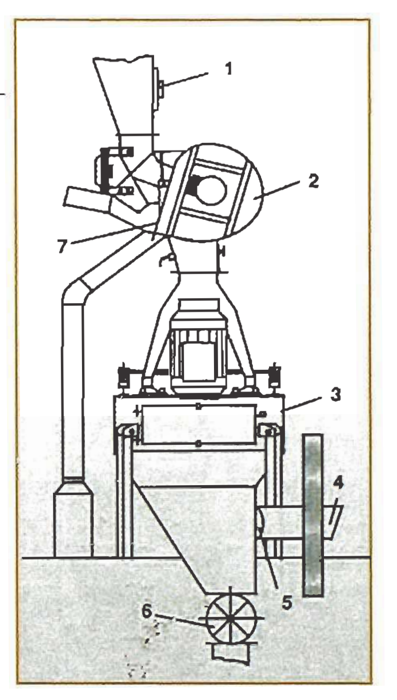


Figura 3.15
Molino de rotor vertical tipo "Vertica" (Empresa Bühler, Braunschweig)
(1) alimentación de malta,
(2) soplante,
(3) carcasa de molienda,
(4) tubo de evacuación,
(5) disco de reventamiento,
(6) esclusa de rueda celular

3.1.4 Molturación húmeda

En la molturación, las cáscaras son dañadas en mayor o menor grado también con un tratamiento cuidadoso, por lo cual sólo pueden cumplir su función como material filtrante de forma restringida. Pero si se remoja la malta antes de la molturación, tanto las cáscaras como el contenido de grano absorben humedad, elastizándose. El contenido de malta se puede entonces expeler sencillamente de las cáscaras, las que así casi no son dañadas y tienen, por ese motivo, una mejor capacidad de filtración de mosto, en tanto que el contenido de grano es triturado más fino, pudiendo así ser mejor aprovechado.

Un molino triturador de malta húmeda (Figura 3.17) está compuesto por una carcasa de molino, sobre la cual se encuentra ubicado el silo de malta con salida cónica. En ese silo de malta ocurre el remojo de la malta.

La pieza más importante del molino triturador de malta húmeda es el par de rodillos

estrujadores (3) con una luz entre rodillos muy angosta de 0,45 mm. Previo a este par de rodillos hay intercalado un rodillo distribuidor (2). El producto mezclado es colectado por un tornillo sinfín y suministrado a la bomba de mezcla (6). Un extenso sistema de toberas rociadoras y pulverizadoras se encarga del remojo de la malta, y respectivamente de la limpieza de la instalación.

El molino triturador de malta húmeda trabaja de la siguiente manera:

a) *Remojo:* La malta pesada automática mente es transportada a la tolva de malta (1 ubicada encima del molino y es remojada all con agua a temperaturas de 30 a 50°C. El agu escurrida abajo es recirculada por la bomba d mezcla, de manera que está asegurado un re mojo uniforme del producto triturado. Est proceso dura aproximadamente 15 a 30 minutos.

En este tiempo, el contenido de agua en la malta aumenta a aproximadamente 30%; simultáneamente la malta se hincha en un 35 a 40%, debido a la absorción de agua, y las enzimas son activadas lentamente.

b) *Evacuación* del agua de remojo, por bombeo

c) *Mezcla:* La malta remojada llega ahora, a través del rodillo alimentador (2), al par de rodillos estrujadores (3), que posee un posicionamiento de rodillos muy angosto (0,45 mm de luz entre rodillos). Aquí, el contenido de grano es exprimido suavemente y casi sin resistencia de las cáscaras escasamente dañadas. A raíz de ello,

Figura 3.17
Modo de funcionamiento del molino triturador de malta húmeda
(a) remojo
(b) evacuación del agua de remojo, por bombeo
(c) mezcla
(d) lavado
(1) tolva de malta
(2) rodillo alimentador
(3) par de rodillos estrujadores
(4) cámara de mezcla de templa con toberas rociadoras
(5) regulación de agua
(6) bomba de mezcla

las heces de una malta molturada húmeda casi parecieran estar compuestas aún por granos. Es particularmente problemático en esto que las puntas de grano sin modificar llegan sin cambios y sin triturar a la cuba de maceración, hacia donde es bombeado a continuación el producto triturado.

La cantidad de agua de maceración en la cuba correspondiente resulta

- de la adición de agua de maceración deseada, teniendo en cuenta
- la cantidad de agua de remojo conteniendo extractos, en el silo de remojo de malta,
- de la adición de agua durante el estrujado, y
- del agua para la limpieza posterior del molino triturador de malta húmeda.

d) *Lavado:* Todas las piezas que entraron en contacto con la malta son limpiadas intensivamente, por medio de toberas rociadoras.

Los molinos trituradores de malta húmeda ya no se fabrican más.

3.1.5 Acondicionamiento por remojo

En el acondicionamiento por remojo se aprovechan las ventajas de la molturación húmeda, humedeciendo la malta durante 50 a 60 s con agua caliente a temperaturas de 60 a 70°C, a razón de aproximadamente 60 l de agua por cada 100 kg de malta. Para debilitar las lipooxigenasas en su actividad, se recomiendan también temperaturas de acondicionamiento de 80°C. En este breve tiempo, solamente la cáscara puede absorber agua (aproximadamente 15 l/100 kg), incrementando su contenido de agua a 18 a 22%, elastizándose así. La misma cantidad de agua queda en los granos como humedad de contacto, en tanto que se evacua el sobrante en el orden de 20 a 30 l de agua/100 kg de malta. Pero un acondicionamiento tan breve requiere también un pasaje forzado de la malta, a los efectos de poder asegurar la absorción exacta de agua en el tiempo de pasaje. Este pasaje forzado se logra por medio de

- esclusa de rueda celular (Figura 3.18), o una
- tolva de acondicionamiento (Figura 3.19).

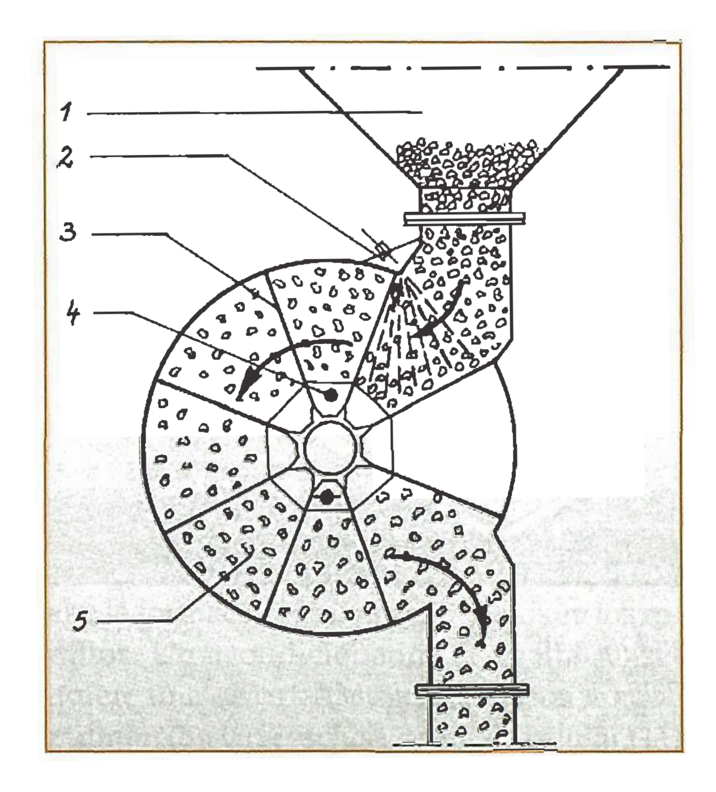


Figura 3.18
Acondicionamiento por medio de esclusa de rueda celular
(1) tolva de malta, (2) regulador de alimentación, (3) rueda celular, (4) entrada de agua, (5) malta acondicionada

Dado que las lipooxigenasas (LOX) comienzan su actividad inmediatamente después de la trituración de la malta, tiene sentido fumigar con gas inerte (CO_2, N_2) la tolva de molienda y todas las áreas en contacto con la molienda. Luego del pasaje a través de la tolva de acondicionamiento, la malta es triturada en el molino triturador de malta húmeda ubicado detrás de la tolva. Posteriormente a ello, la malta triturada se mezcla inmediatamente con el agua de mezcla y con el agua sobrante de remojo.

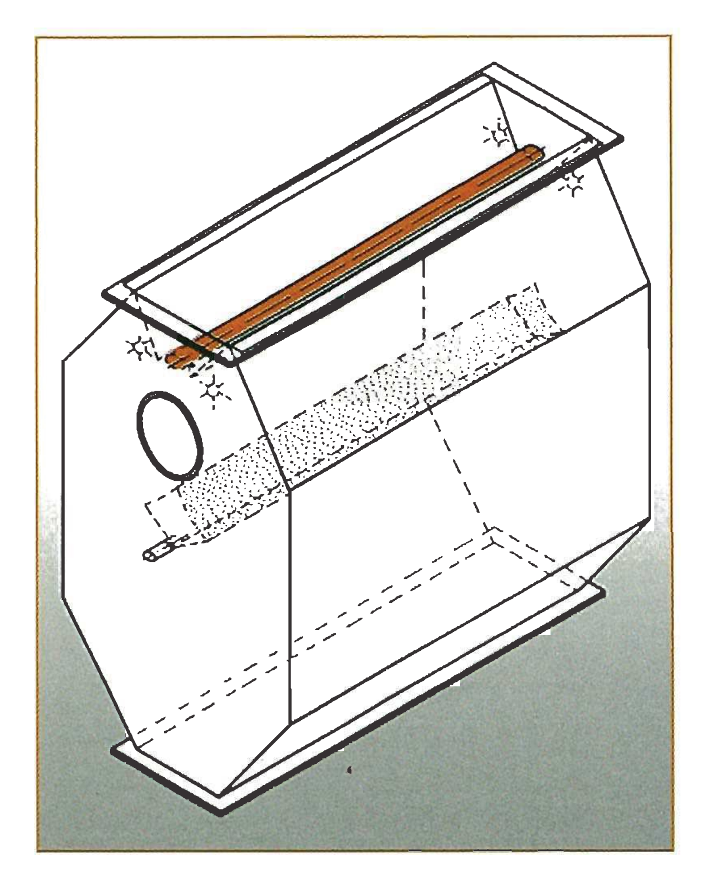


Figura 3.19
Tolva de acondicionamiento por remojo

Dado que con la mezcla tiene lugar una activación inmediata de los procesos enzimáticos, se recomienda una acidificación biológica dosificada en ese momento.

Un molino triturador de malta húmeda con acondicionamiento por remojo trabaja del siguiente modo (Figura 3.20):

En el silo de malta (1) se almacena en seco la carga de malta ya pesada y se la abastece en la sección de acondicionamiento (2) con agua caliente (3) de forma continuada durante aproximadamente 60 s. La temperatura del agua puede ser elegida libremente y se encuentra por lo general en 60 a 70°C, a veces en 80°C, para que las lipooxigenasas sensibles a la temperatura sean ineficaces. Por supuesto, que el proceso debe ser controlado y regulado, dado que la absorción de agua ocurre más rápidamente con la temperatura en aumento. En el ejemplo presente, la regulación es realizada por el rodillo de alimentación (4)

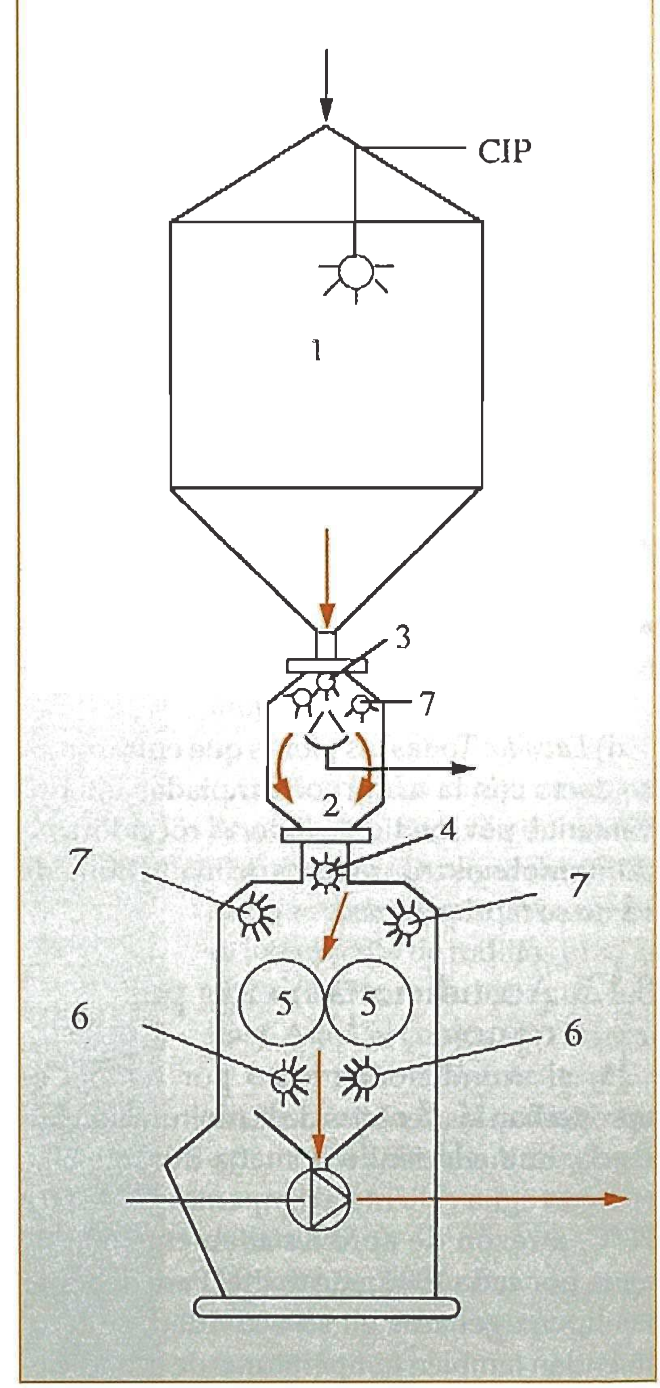


Figura 3.20
Acondicionamiento por remojo
(1) silo de malta
(2) tolva de acondicionamiento
(3) suministro de agua
(4) rodillo de alimentación
(5) rodillos de molturación
(6) toberas rociadoras
(7) toberas de limpieza
(8) bomba de mezcla

del molino. En el ranurado especial del par de rodillos estrujadores (5), que se encuentra ubicado posteriormente, se retiene la cáscara húmeda y se tritura el interior de grano.

Luego, la molienda es mezclada íntimamente, por medio de toberas rociadoras (6), con agua a temperatura de mezcla, siendo posteriormente transportada por una bomba (8), desde abajo, a la cuba de maceración. En este proceso, la bomba es regulada de modo tal que el molino nunca es vaciado por succión, durante la trituración. De esta manera se evita una absorción indeseada de oxígeno.

También aquí tiene una gran importancia el rodillo de alimentación: debe suministrar la cantidad deseada de malta, distribuida sobre toda la longitud de rodillo. Para ello posee un engranaje de regulación continua, que posibilita velocidades de rotación de 25 a 138 rpm.

Los rodillos estrujadores son ranurados y sus dientes se encuentran en posiciones opuestas. Su luz, que puede variar entre 0,25 y 0,40 mm, es regulable de forma continua.

La velocidad de rotación de los rodillos depende de la modificación de la malta: las maltas mal modificadas tienen granos más duros y causan con ello un mayor consumo de corriente por parte del molino. Por medio de un dispositivo de regulación, se reduce la velocidad de los rodillos, necesitando así un tiempo de remojo más prolongado.

La sección de acondicionamiento y el molino son de acero al cromo-níquel, para poder limpiarlos de forma óptima, por medio de limpieza por chorro, en el proceso CIP. Estos molinos trituradores de malta se construyen en órdenes de magnitud de 4 a 20 t/h.

En los molinos de trituración de malta húmeda, la duración de molturación equivale a la de la mezcla, dado que ya no se puede intercalar una tolva de molienda. Es por eso que estos molinos están dimensionados para grandes caudales, causando con ello elevados picos de corriente y costos de operación relativamente altos.

La absorción de oxígeno ocurre aquí ya durante la molturación.

Una instalación completa para molturación de malta está representada de la siguiente manera, para molienda en seco acondicionada (Figura 3.21):

La malta proveniente del silo es guiada a través de un tamiz clasificador (1), donde se retienen contaminantes groseros. El polvo es aspirado a través de un canal de aspiración (2) conectado adicionalmente. En un separador de piedras (4) se extraen las piedras aún contenidas y se remueve polvo (3). Posteriormente, la malta es pesada en la balanza automática (5). Según como sea la disposición, se encuentran intercalados dispositivos de transporte entre las máquinas, siendo éstos, por lo general, transportadores con cangilones (6) y por tornillo sinfín. Un aparato magnético (7) remueve todas las piezas metálicas y evita con ello la formación de chispas y daños en los rodillos. Un acondicionador de malta (9) requiere una cañería de agua (10) y un tanque pulmón (8). Una esclusa de rueda celular (11) u otro regulador dosifica la cantidad de malta para el molino triturador de la misma (12). La molienda que sale fluyendo es acumulada en una tolva de molienda. La instalación mostrada de molturación de malta es una de las muchas posibles.

3.1.6 Trituración muy fina con agua

Desde tiempos recientes se ofrecen procesos de trituración muy fina tanto de malta como de adjuntos (Dispax de Ziemann, Hydromill de Meura). En el proceso Dispax (Figura 3.2a) se introducen simultáneamente agua y molienda en un aparato de dispersión (IKA-Werke, Staufen) similar a una bomba. En un proceso de trabajo de tres etapas, se los arremoliniza allí con alta turbulencia, en las ranuras de cizallamiento progresivamente más pequeñas, ubicadas entre el rotor, que gira a 21 m/s, y un estator fijo. En esto, las partículas son trituradas tan extensivamente por

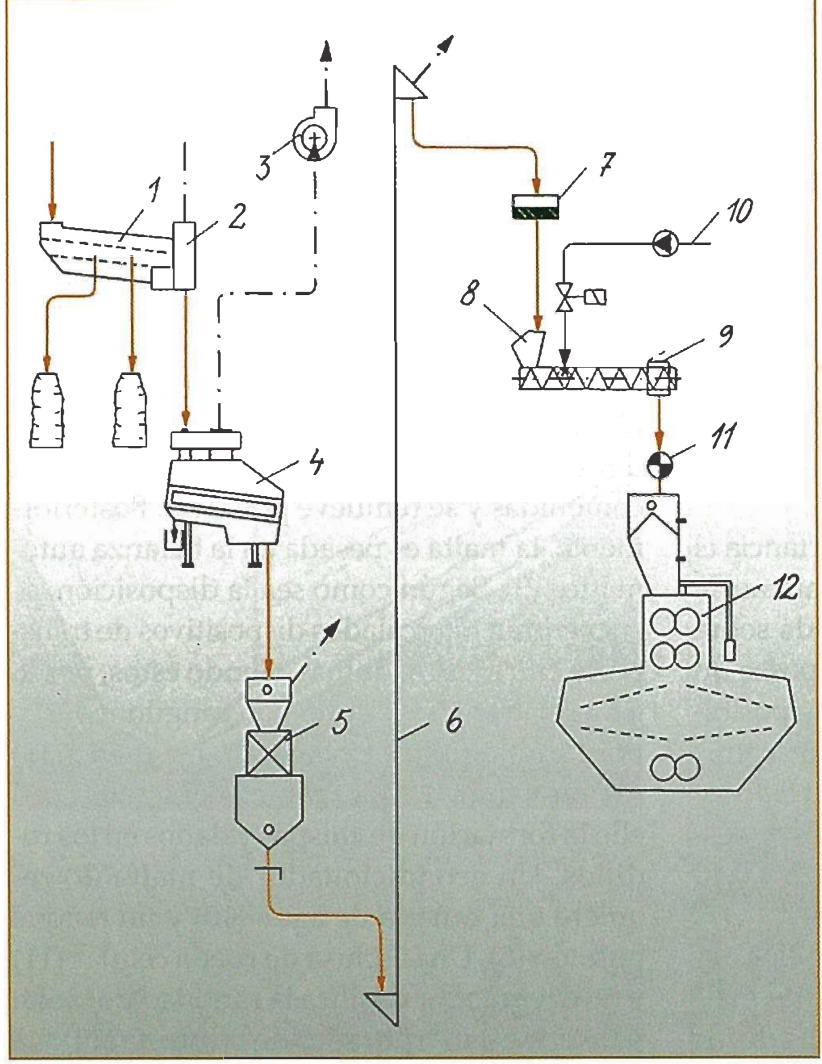


Figura 3.21
Instalación completa de molturación (molturación en seco acondicionada), (explicación en el texto)

templa. Sin embargo, las partículas se juntan más estrechamente con la trituración muy fina, reduciendo con ello el pasaje de líquido, sobre todo si son espesadas a presión, para una mejor extracción del azúcar por lavado de las cáscaras.

El proceso "Hydromill" -molturación fina bajo agua- de Meura trabaja según un principio similar.

3.1.7 Evaluación de la molienda

Un control regular de la molienda es esencial para un buen trabajo de molturación. Pero una evaluación tal solo es posible con molienda en seco y molienda acondicionada. Una evaluación de molienda húmeda sólo puede ser realizada por control de calidad manual.

Para una toma de muestras exacta hay colocados muestreadores en los molinos trituradores de malta en seco, debajo de cada par de rodillos, y en la salida del molino hay un dispositivo espe-

los cantos de los dientes del rotor que al final todas las estructuras celulares se encuentran reducidas y los granos de almidón al descubierto, pudiendo esperarse con ello un buen rendimiento. En la Figura 3.21b es bien visible la trituración progresiva de derecha a izquierda (estatores atrás, rotores adelante) en las tres coronas dentadas engranadas. Con la trituración muy fina bajo agua se realiza simultáneamente la mezcla libre de grumos. Dado que en este proceso también se trituran totalmente las cáscaras, el mismo está pensado especialmente para el trabajo con filtros de

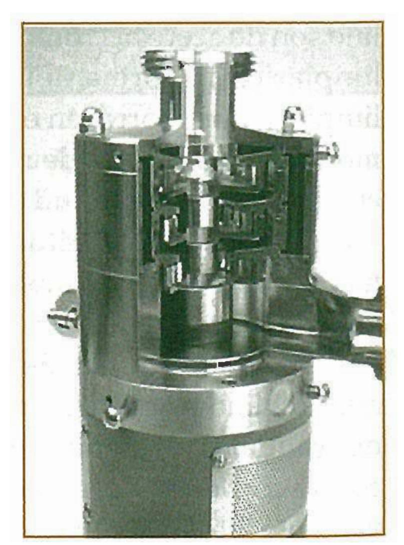


Figura 3.21a
Reactor de dispersión "Dispax"

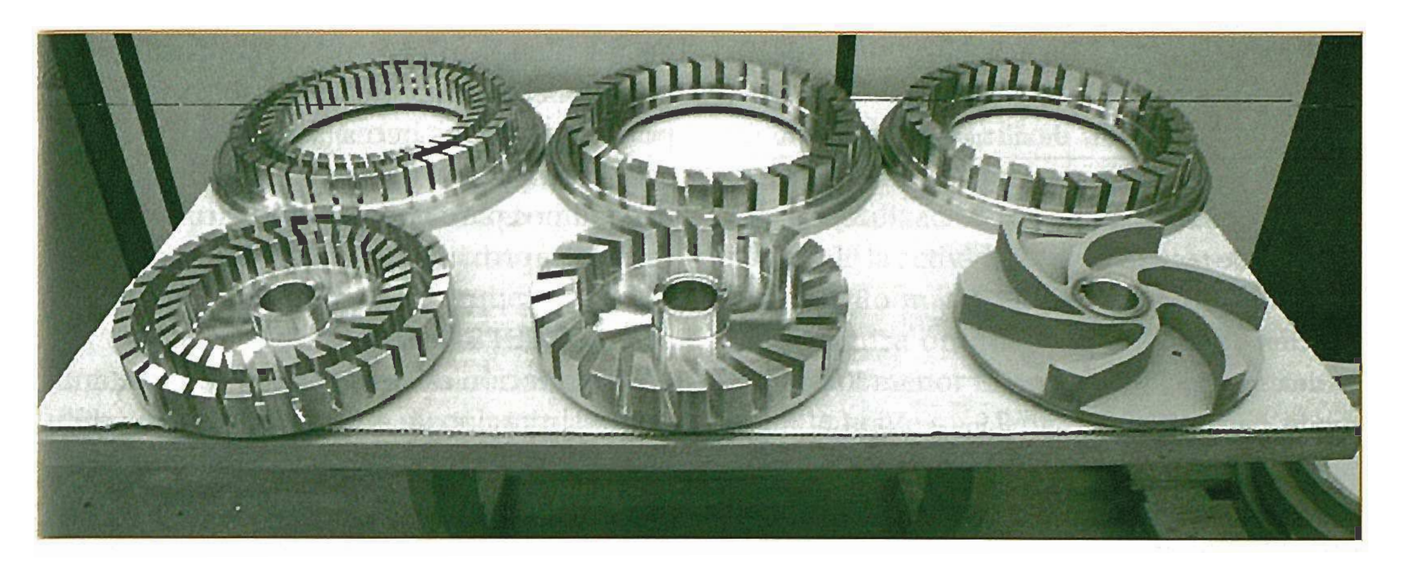


Figura 3.2b
Rotores y estatores del reactor de dispersión "Dispax"

cial para la toma de una muestra de molienda total de 150 a 200 g, la cual ya no debe ser dividida, a los efectos de evitar errores. Se pueden determinar manualmente, de forma empírica, errores groseros en la composición de la molienda.

Para la evaluación precisa de la molienda se utiliza el planchíster tipo "Pfungstädter", que es un planchíster pequeño, en el cual se dividen 100 a 200 g de molienda en seis fracciones, por medio de cinco tamices:

Tamiz nº	Fracción	Diámetro de alambre en mm	Abertura libre de malla en mm
1	cáscaras	0,31	1,27
2	molienda gruesa	0,26	1,01
3	molienda fina I	0,15	0,547
4	molienda fina II	0,07	0,253
5	harina	0,04	0,152
fondo de tamiz	harina fina	-	-

Las aberturas de malla levemente modificadas por la MEBAK conducen a los mismos resultados.

Como valor normal para una buena molienda para cuba de filtración de mosto o para filtro de templa se puede tomar la siguiente clasificación:

	Molienda para cuba de filtración de mosto	Molienda para filtro de templa convencional	2001
tamiz 1	18%	11%	1%
tamiz 2	8%	4%	2%
tamiz 3	35%	16%	15%
tamiz 4	21%	43%	29%
tamiz 5	7%	10%	24%
fondo de tamiz	11%	16%	29%

En el año 2001 se determinaron los siguientes valores promedio [247]:

Indicaciones en %	Molienda para cuba de filtración	Molienda de molinos de martinete
fracción de tamiz 1, cáscaras	20,6	1,0
fracción de tamiz 2, molienda gruesa	16,3	3,6

Indicaciones en %	Molienda para cuba de filtración	Molienda de molinos de martinete
fracción de tamiz 3, molienda fina I	34,1	20,9
fracción de tamiz 4, molienda fina II	14,0	39,1
fracción de tamiz 5, harina	5,3	30,8
fondo, harina fina	9,9	4,6

Es importante en esto que no queden retenidos granos intactos o sólo apenas rotos sobre el tamiz de cáscaras.

La calidad de molienda afecta

- *el proceso de maceración y el tiempo de sacarificación,*
- *la filtración del mosto,*
- *el rendimiento de la sala de cocción,*
- *la fermentación,*
- *la filtrabilidad de la cerveza (¡contenido de β-glucano!), así como*
- *el color, el sabor y el carácter completo de la cerveza.*

Para lograr una composición óptima de la molienda se:

debe molturar más fino	debe molturar más grueso
en maltas con elevado contenido de agua,	en maltas con muy bajo contenido de agua,
en maltas pobremente modificadas,	en maltas bien modificadas y friables,
en procesos de maceración poco intensivos,	en procesos de maceración intensivos,
cuando el rendimiento de la sala de cocción es pobre	cuando los tiempos de filtración de mosto son prolongados

Para el ajuste correcto del molino triturador de malta, debe tenerse en cuenta, aparte de la evaluación del resultado de clasificación, también el extracto desintegrable y extraíble por lavado de las heces (ver Sección 3.3.5.2).

El pretriturado debe ser ajustado en todos los molinos para obtener una fracción de cáscaras de aproximadamente 40%.

3.2 Maceración

La maceración es el proceso más importante en la fabricación de mosto. En la maceración, la molienda y el agua son mezclados entre sí (macerados). Los componentes de la malta entran así en solución y, con ayuda de las enzimas, se los obtiene como extractos.
Las transformaciones durante la maceración tienen una importancia decisiva.

3.2.1 Transformaciones durante la maceración

3.2.1.1 Propósito de la maceración

Sólo una parte de los componentes de la molienda es soluble. Pero a la cerveza sólo pueden pasar substancias solubles. Es por ello necesario que las substancias insolubles de la molienda sean convertidas en substancias solubles durante la maceración.

▶ Todas las substancias que entran en solución se denominan extracto.

Son solubles, por ejemplo, los azúcares, las dextrinas, las substancias minerales y determinadas substancias albuminoideas.

Insolubles son el almidón, la celulosa, una parte de las substancias albuminoideas de alto peso molecular y otros compuestos, que quedan como heces al final del proceso de filtración de mosto.

Por motivos económicos, se trata de convertir en soluble la mayor cantidad posible de compuestos insolubles. Es decir, formar mucho extracto, en lo posible. Esto se manifiesta en el rendimiento de la sala de cocción (ver Sección 3.5) y en el extracto de las heces (ver Sección 3.3.5.2).

Sin embargo, no es sólo de importancia la

cantidad, sino en especial la calidad del extracto, porque hay ciertas substancias (por ejemplo, los taninos provenientes de las cáscaras) que son indeseadas, en lo posible, en tanto que otras (por ejemplo, determinados azúcares o productos de degradación de proteínas) son particularmente requeridas.

Por eso, el propósito de la maceración es la degradación completa del almidón para la obtención de azúcares y dextrinas solubles. Se forman en esto también otros extractos. La cantidad principal de extracto recién es formada durante la maceración, por la actividad de las enzimas, a las cuales se deja actuar con sus temperaturas óptimas.

3.2.1.2 Propiedades de las enzimas

La propiedad más importante de las enzimas es su actividad en la disociación de los substratos (ver Figura 1.6). Esta actividad depende de varios factores.

- *Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura*

La actividad de las enzimas depende en primer lugar de la temperatura. Aumenta con temperatura creciente y alcanza un valor óptimo específico para cada enzima, a la temperatura óptima (Figura 3.22). A mayores temperaturas tiene lugar una inactivación en rápido aumento, debido a un desdoblamiento de la estructura tridimensional de la enzima (desnaturalización). La inactivación y eliminación de la actividad enzimática es tanto mayor, cuanto más hacia arriba es excedida la temperatura óptima. Las enzimas trabajan también a menor temperatura, pero entonces notablemente más lento.

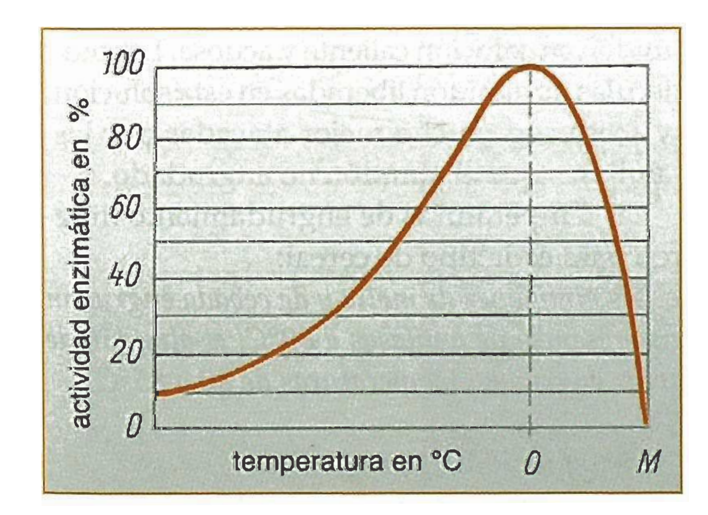


Figura 3.22
Dependencia de la actividad enzimática de la temperatura
O = temperatura óptima
M = temperatura máxima

La actividad enzimática típica para una determinada temperatura no es modificable. En tanto que, a bajas temperaturas, la actividad se conserva casi ilimitadamente, ésta disminuye rápidamente con el tiempo, a temperatura creciente (Figura 3.23).

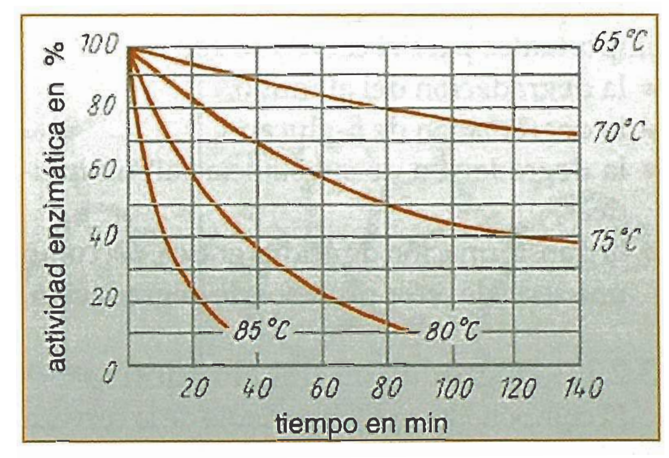


Figura 3.23
Dependencia de la actividad enzimática del tiempo de acción

- *Dependencia de la actividad enzimática del valor pH*

Dado que la estructura tridimensional de las enzimas se modifica también en dependencia del valor pH, resulta de ello una dependencia de la actividad enzimática del valor pH. La actividad enzimática alcanza un valor óptimo con un valor pH, que es específico para cada enzima, y disminuye con mayores y menores valores pH (Figura 3.24).

La influencia del valor pH sobre la actividad enzimática no es, por lo general, tan grande como la influencia de la temperatura.

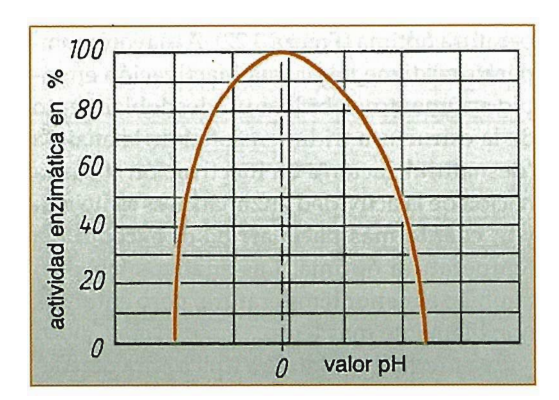


Figura 3.24
Dependencia de la actividad enzimática del valor pH
O = valor óptimo

Los procesos de degradación de substancia importantes para el cervecero son

- la degradación del almidón,
- la degradación de β-glucano,
- la degradación de substancias albuminoideas,
- la transformación de ácidos grasos, así como una serie de otros procesos de degradación.

3.2.1.3 Degradación del almidón

El componente más importante de la cerveza es el alcohol formado durante la fermentación de los azúcares. Es por ello necesario que el almidón sea degradado predominantemente a maltosa. Aparte de ello, siempre se forman productos intermedios, las dextrinas límite, que no son fermentados.

El almidón debe ser degradado completamente a azúcares y a dextrinas límites no coloreables con yodo. La degradación completa hasta ese estado de reacción normal al yodo es necesaria por motivos económicos. Además, los restos de almidón no degradado causan un "enturbiamiento de almidón" en la cerveza.

La degradación de almidón ocurre en tres etapas, cuyo orden no es modificable, pero que se funden una en la otra:

- el engrudamiento,
- la licuefacción,
- la sacarificación.

Engrudamiento

En solución caliente y acuosa, una gran cantidad de agua es incorporada por las moléculas de almidón. De este modo, tiene lugar un aumento de volumen, el cual causa que los granos de almidón, unidos fuertemente entre sí, se hinchen y finalmente revienten. Se forma una solución viscosa (espesa); el grado de la viscosidad depende de la cantidad de agua incorporada y difiere entre los distintos tipos de cereales. Así, por ejemplo, el almidón del arroz se hincha mucho más que el almidón de la malta. Este proceso, en el que no tiene lugar degradación alguna de substancia, se denomina engrudamiento. Es una parte importante de la elaboración diaria de comidas (por ejemplo la cocción de flan, el espesamiento de sopa o salsa).

Dado que el almidón engrudado ya no se encuentra ligado en los granos sólidos de almidón, pueden actuar directamente sobre el mismo las enzimas contenidas en el líquido (templa). Por el contrario, la degradación de almidón sin engrudar dura varios días.

Por engrudamiento se entiende el hinchamiento y reventamiento de los granos de almidón en solución caliente y acuosa. Las moléculas de almidón liberadas en esta solución viscosa son mucho mejor atacadas por las amilasas que el almidón no engrudado.

Las temperaturas de engrudamiento difieren para cada tipo de cereal:

Los almidones de malta y de cebada engrudan en presencia de amilasas a 60°C, el almidón de arroz engruda a temperaturas de 80 a 85°C.

Licuefacción

Las cadenas largas del almidón, formadas por residuos de glucosa (amilosa y amilopectina), son rotas muy rápidamente por la α-amilasa, en cadenas más pequeñas (Figura 3.25b). Por esto, la viscosidad de la templa engrudada disminuye muy rápidamente. La β-amilasa sólo

es capaz de degradar lentamente las cadenas largas desde el extremo que no reduce, de manera que la degradación únicamente por parte de esta enzima duraría días enteros.

Por licuefacción se entiende la disminución de la viscosidad del almidón engrudado, por parte de la α-amilasa.

Sacarificación

La α-amilasa rompe las cadenas de la amilosa y de la amilopectina progresivamente hasta obtener dextrinas con 7 a 12 residuos de glucosa. La β-amilasa disocia dos residuos (= maltosa) de los grupos terminales de las nuevas cadenas formadas (ver Figura 3.25;c). Con esto, la α-amilasa forma asimismo con cada disociación dos cadenas terminales, que pueden ser atacadas por la β-amilasa, al disociar maltosa. Debido a la diferente longitud de las cadenas, se forman, aparte de maltosa, otros azúcares, tales como glucosa y maltotriosa.

En todos los casos, la degradación de substancias se detiene 2 a 3 residuos de glucosa antes de los enlaces 1,6 de la amilopectina, dado que estos enlaces 1,6 no pueden ser rotos por la α-amilasa ni por la β-amilasa. Estas dextrinas límite siempre se encuentran presentes en un mosto normal.

3

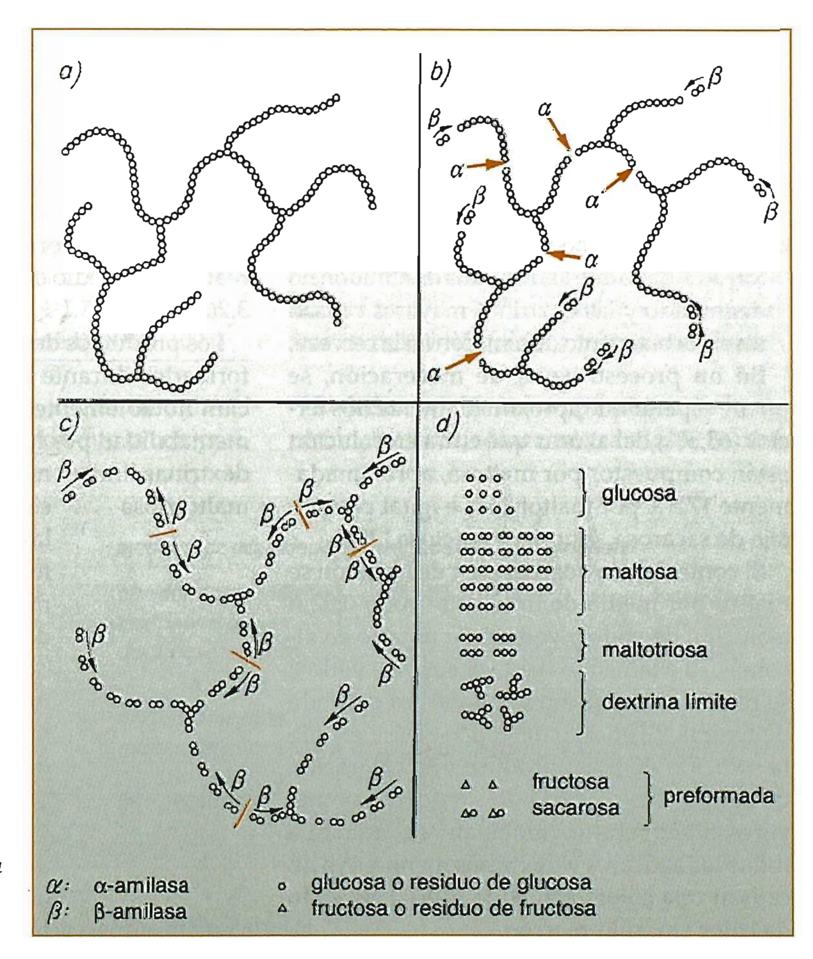


Figura 3.25 - a, b, c, d Degradación de almidón durante la maceración

La malta contiene una enzima, la dextrinasa límite, que puede romper, aparte de los enlaces 1,4, también los enlaces 1,6. Pero con una temperatura óptima de 50 a 60°C, apenas tiene efecto durante la maceración. A 70°C sólo es detectable una actividad leve de la dextrinasa límite.

Por lo tanto, vale lo siguiente para la degradación del almidón, por parte de las amilasas de la malta:

- La α-amilasa degrada las cadenas largas de almidón a dextrinas más pequeñas. Actúa de forma óptima a temperaturas de 72 a 75°C y es destrozada rápidamente a 80°C. El valor pH óptimo se encuentra en 5,6 a 5,8.
- La β-amilasa disocia maltosa de los extremos de cadena no reducidos, pero también se forman glucosa y maltotriosa. Actúa de forma óptima a temperaturas de 60 a 65°C y es muy sensible a las temperaturas mayores; ya a 70°C es rápidamente inactivada. El valor pH óptimo es 5,4 a 5,5.
- La degradación del almidón debe ser monitoreada, dado que los residuos de almidón no degradado y las dextrinas mayores causan un enturbiamiento de almidón en la cerveza.

En un proceso usual de maceración, se puede esperar que aproximadamente dos tercios (65,5%) del azúcar que entra en solución están compuestos por maltosa, aproximadamente 17,5% por maltotriosa e igual porcentaje de sacarosa, glucosa y fructosa [258].

El control de la degradación de almidón se realiza por medio de tintura de yodo 0,02 n (solución de yodo y yoduro de potasio en alcohol). El examen se llama ensayo de yodo y se realiza siempre con una muestra enfriada de templa. El ensayo de yodo se basa en que la solución de yodo produce una coloración de azul a rojo con almidón y dextrinas mayores, a temperatura ambiente, en tanto que todos los azúcares y dextrinas menores ya no causan una coloración en la tintura de yodo de color amarillo-marrón.

Las dextrinas ramificadas mayores a medianas producen con yodo todavía una coloración de yodo violeta a rojo. Esta coloración no siempre es fácil de ver, pero es un indicador de un mosto aún con reacción que no es normal al yodo. Un ensayo de yodo más sensible según W. Windisch controla la presencia de estas dextrinas por precipitación con etanol, extracción del etanol, redisolución y coloración con yodo. Este método se utiliza en casos problemáticos.

Pero la persona a cargo de la producción del mosto debe poder evaluar correctamente el ensayo de yodo.

Cuando ya no ocurre ninguna coloración de la tintura de yodo tan pronto como se la agrega a la templa, se dice de esta última que es normal a la reacción de yodo. La degradación de las moléculas de almidón hasta el estado de reacción normal al yodo se llama sacarificación.

Por sacarificación entendemos la degradación sin residuos, por parte de las amilasas, del almidón licuado a maltosa y dextrinas límites de reacción normal al yodo. El examen se realiza por medio del ensayo de yodo (Figura 3.26).

Los productos de degradación del almidón formados durante la maceración se diferencian notablemente en lo referente a su fermentabilidad por la levadura de cerveza:

dextrinas límite	no son fermentadas
maltotriosa	es fermentada por todas las cepas de levadura de fermentación alta. Pero la maltotriosa recién es degradada por la levadura, cuando está fermentada la maltosa. Es decir recién en la maduración (azúcar de posfermentación)
maltosa	otros disacáridos son bien y rápidamente fermentados por la levadura (azúcar de fermentación principal)

glucosa — es la primera en ser utilizada por la levadura (azúcar de inicio de fermentación).

La fracción porcentual de azúcares fermentables en el extracto total del mosto determina la atenuación límite (V_S^{end}). Por medio de la atenuación límite, se establece el contenido alcohólico de la cerveza y con ello se influye decisivamente sobre el carácter de la cerveza.

La porción de azúcares fermentables es determinada por la actividad variable de las enzimas. De esta manera se establece al mismo tiempo la atenuación límite durante la maceración.

La composición normal del extracto fermentable de las cervezas claras con un grado de fermentación aparente del 80%:

Azúcares fermentables	en % del extracto	g en100ml de mosto al 12%	Porcentaje del extracto fermentable
hexosas	7- 9	0,9-1,2	11,9
sacarosa	3- 4	0,4-0,5	5,1
maltosa	43-45	5,6-5,9	65,4
maltotriosa	11-13	1,4-1,7	17,6
total	62-68	promedio 8,8	100,0

La composición depende en gran medida del proceso de maceración. Dado que la composición el mosto, en lo referente a los diferentes azúcares y dextrinas influye tanto sobre el desarrollo de la fermentación como sobre la calidad de la cerveza, son importantes para el cervecero los factores que influyen sobre la degradación de almidón durante la maceración. Los factores importantes de influencia son:

- la temperatura durante la maceración,
- la duración de la maceración,
- el valor pH durante la maceración, y
- la concentración de la templa.

3.2.1.3.1. Influencia de la temperatura sobre la degradación del almidón

Macerando a temperaturas de 62 a 63°C se obtiene el contenido más alto posible de maltosa y la más alta atenuación límite. Los mostos ricos en maltosa fermentan más rápidamente y mantienen la levadura durante más tiempo en suspensión.
Macerando prolongadamente a temperaturas de 62 a 64°C se obtienen cervezas con una mayor atenuación límite; pasando por encima de esas temperaturas y macerando prolongadamente con 72 a 75°C se obtienen cervezas ricas en dextrinas con baja atenuación límite.

La influencia de las temperaturas de maceración es extremadamente grande, de manera



Figura 3.26
Degradación de almidón hasta la reacción normal al yodo

que durante la maceración se mantienen siempre reposos a las temperaturas óptimas de las amilasas. A éstos se los llama

reposo de formación de maltosa a 62 a 65°C
(= temperatura óptima de la β-amilasa)
reposo de sacarificación a 72 a 75°C
(= temperatura óptima de la α-amilasa)
temperatura de finalización de la maceración a 76 a 78°C.

A pesar de que, a temperaturas aún mayores, el proceso de clarificación del mosto se desarrolla de forma notablemente más rápida, como consecuencia de la menor viscosidad del mosto debe tenerse en cuenta que la α-amilasa aún activa se inactiva progresivamente a temperaturas por encima de 78°C. Sin embargo, durante la filtración del mosto puede entrar todavía en solución almidón sin degradar, el cual debe ser degradado (sacarificado posteriormente) entonces. Para esto, se necesita la α-amilasa aún presente. De lo contrario, existe el riesgo de que el mosto que antes era normal a la reacción al yodo vuelva a ser no normal a esta última (enturbiamiento de almidón).

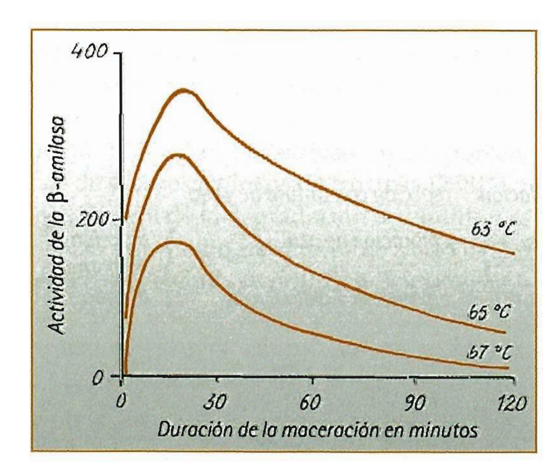


Figura 3.27
Actividad de la β-amilasa en dependencia de la temperatura de maceración y de la duración de reposo

3.2.1.3.2 Influencia de la duración de maceración sobre la degradación de almidón

Las enzimas ciertamente no actúan de forma uniforme durante el proceso de maceración. Se pueden distinguir en la actividad de las enzimas dos etapas dependientes del tiempo (Figura 3.27): [19]

1. El máximo de actividad enzimática es alcanzado luego de 10 a 20 min. El máximo de la actividad enzimática es mayor a temperaturas entre 62 a 63°C que a 67 a 68°C.
2. Luego de 40 a 60 min, la actividad enzimática disminuye primeramente de forma rápida, pero la reducción de actividad decrece de forma continua.

De esto se concluye que la influencia de las temperaturas de maceración sólo puede ser considerada en relación con la duración de maceración.

En general vale:

1. Con duración creciente de maceración, aumenta la concentración de la solución de extracto. Pero este proceso se lentifica cada vez más.
2. Con duración creciente de maceración (en especial macerando a 62 a 63°C), aumenta el contenido de maltosa y con ello la atenuación límite. De estos mostos se puede esperar una fermentación principal intensiva.

3.2.1.3.3 Influencia del valor pH sobre la degradación de almidón

En la discusión sobre las enzimas, hemos visto que la actividad de éstas es fuertemente dependiente del valor pH. Hemos visto, también, que las β-amilasas tienen en la templa un valor pH óptimo de 5,4 a 5,5.

Por medio de la maceración en un rango de pH de 5,5 a 5,6, el cual puede ser considerado como rango de pH óptimo para ambas amilasas, se puede incrementar el contenido de extracto, en comparación con el obtenido con un mayor valor de pH de templa. Se forman

más azúcares fermentables y aumenta la atenuación límite.

Sin embargo, el valor pH "normal" de las templas es 5,6 a 5,9, dependiendo de la composición del agua de maceración y de la malta. Es decir, que es notablemente más alto.

Es por ello, que se está interesado en reducir el valor pH durante la maceración hasta 5,2 a 5,1. Sobre esta posibilidad discutiremos en la Sección 3.2.1.8.

3.2.1.3.4 Influencia de la concentración de templa sobre la degradación de almidón

En las templas más finas entra más extracto en solución, pero las templas más gruesas protegen a las enzimas de una inactivación térmica demasiado rápida, (= efecto coloidal protector de los sólidos de templa y de las substancias disueltas). De esta manera aumenta en las templas más gruesas la cantidad de azúcares fermentables y con ello la atenuación límite.

Pero esta influencia de la concentración de templa sobre la degradación de almidón es menor que la influencia de los otros factores.

3.2.1.3.5 Control de la degradación de almidón

Resumiendo nuevamente lo dicho hasta ahora respecto del control de degradación de almidón:

- el almidón debe ser degradado completamente en la maceración, hasta el estado de reacción normal al yodo.
- el control de la degradación de almidón se realiza al final de la maceración, por medio del ensayo de yodo. Dado que la coloración de yodo con almidón y dextrinas mayores sólo ocurre con la templa fría, se debe enfriar la muestra de templa. Sobre una cápsula de porcelana o un bloque de yeso, se pone luego en contacto la muestra de templa fría con una gota de tintura de yodo. No debe aparecer una coloración de la tintura de yodo 0,02 n amarillenta.
- La sacarificación se controla nuevamente al final del cocimiento del mosto (sacarificación posterior).

Si el mosto continúa produciendo una coloración, entonces su reacción no es normal al yodo. Se lo refiere entonces como cocimiento azul, formándose cerveza con enturbiamiento de almidón, dado que las dextrinas mayores son insolubles. A un cocimiento azul se lo puede entonces adecuar para la fermentación solamente por adición de infusión de malta o de primer mosto.

3.2.1.4 Degradación del β-glucano

Una citólisis deficiente causa dificultades en la filtración de mosto, debido a un aumento de viscosidad, y problemas de filtración, por la formación de geles. La formación de geles puede ser también un factor operacional específico, debido a la solicitación de corte. Sin embargo, diferentes componentes de β-glucano no tienen efecto sobre la conservación de la espuma ni sobre el cuerpo.

Dado que el β-glucano también está sometido a transformaciones durante la maceración, es necesario que nos ocupemos algo más detalladamente de él.

Tal como ya sabemos, el β-glucano de alto peso molecular fue degradado en su mayor parte durante el malteado. Favorecieron esto

- el procesamiento de variedades de cebada con bajo contenido de β-glucano,
- la malta con alto contenido de endo-β-glucanasa (mínimo 120 unidades de endo-β-glucanasa/kg de malta)
- una buena modificación del contenido de grano (valor de friabilímetro mayor que 80%).

En contraste con las moléculas de almidón helicoidales (α-glucano, ver Sección 1.1.4.1.1), las moléculas del β-glucano están sin ramificar y rebordeadas. Muchas de estas moléculas están unidas o asociadas por puentes de hidrógeno. Debido a su aspecto irregular, se las conoce como filamentos finos formados por

micelas, dispuestos de forma antiparalela (Figura 3.27a, 1). En esta forma, son solubles.

Muchos de estos filamentos finos están reticulados entre sí (2) y en parte están unidos fuertemente con proteínas a la pared celular (3). Ello vale muy en especial para las partes del grano de malta aún no modificadas del todo, tales como por ejemplo las puntas de grano (4). Esto es también el punto de partida al inicio de la maceración [122, 123, 124].

Durante el engrudamiento se desintegra la estructura de los granos de almidón y se liberan los filamentos finos, unidos en parte con proteínas. La endo-β-glucanasa puede entonces degradar el β-glucano de estos filamentos finos reticulados (5). La endo-β-1,4-glucanasa tiene una temperatura óptima de 40 a 45°C. Por medio de un reposo más prolongado a esa temperatura, malta bien modificada y un elevado contenido de endo-β-glucanasa, se degrada la mayor parte de β-glucano a β-glucano soluble y se reduce el riesgo de formación de geles.

Sin embargo, tan pronto como se incrementa la temperatura se inactiva la endo-β-glucanasa sensible a la temperatura y, por ello, deja de ser eficaz. Ahora actúa la β-glucanosolubilasa (6), insensible a la temperatura (ópt. 62°C), y libera de las proteínas y de las puntas de grano sin modificar a los compuestos de β-glucano de alto peso molecular, pero no los sigue degradando. Dado que a esa temperatura la endo-β-glucanasa ya se encuentra largamente inactivada, son de esperar siempre, en el caso de maltas mal modificadas y pobres en enzimas, compuestos de β-glucano de alto peso molecular, los cuales sin embargo no se deben considerar equivalentes al gel de β-glucano. Esto enfatiza nuevamente la constatación de que la citólisis es sólo responsabilidad del maltero, siendo aquélla recuperable en la sala de cocción solamente de forma muy incompleta.

Se consideran como temperaturas óptimas de las enzimas citolíticas:

- endo-β-1,4-glucanasa 40 a 45°C
- endo-β-1,3-glucanasa 60°C
- β-glucanosolubilasa 62°C

El problema comienza luego con la ruptura parcial de los puentes de hidrógeno (Figura

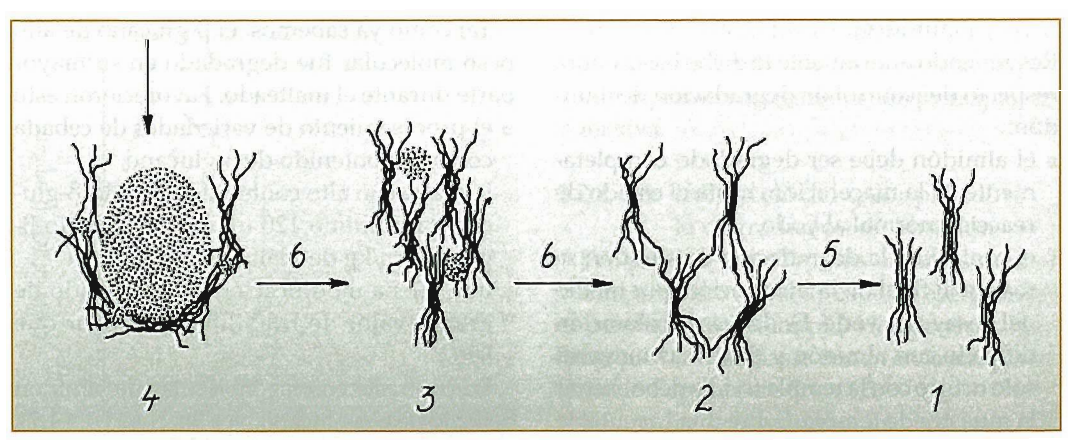


Figura 3.27a: Degradación del β-glucano durante la maceración
(1) filamentos finos formados por micelas, dispuestos de forma antiparalela, (2) filamentos finos reticulados formados por micelas, dispuestos de forma antiparalela , (3) filamentos finos formados por micelas, dispuestos de forma antiparalela y fijados por proteínas, (4) regiones submodificadas, (5) degradación por endo-β-glucanasa, (6) degradación por β-glucanosolubilasa

3.27b, 1) dentro de las asociaciones, por encima de 70 a 80°C. Es decir

- durante el cocimiento del mosto, y
- durante el enfriamiento del mosto.

Se forma ahí β-glucano (2) activado térmicamente, que se comporta de forma muy diferenciada durante el enfriamiento:

si (4)

- se utiliza malta bien modificada, con un elevado contenido de enzimas,
- se enfría lentamente,
- se sedimenta de forma tranquila y no se arremolina,
- se evita la formación de fuerzas de corte, no se vuelven a desarrollar los puentes de hidrógeno tampoco dentro de las moléculas y el riesgo de formación de geles es reducido.

Pero si (3)

- se generan grandes esfuerzos de corte a altas temperaturas de mosto, por ejemplo:
- por agitadores que se mueven a alta velocidad
  por elevadas velocidades de flujo y repetidos cambios de sentido en el cocedero externo
- por fuerte formación de remolinos en las bombas
- por fuerte formación de remolinos en el whirlpool
- por secciones de tubería muy angostas o cambiantes, o
- por fuerzas centrífugas,

los puentes de hidrógeno reticulan las hebras de glucano, y por extensión de las moléculas puede aumentar la viscosidad y con ello las dificultades de filtración (ver Figura 3.27c). La figura, en la cual las muestras de mosto sin esfuerzos de corte están ordenadas en mosto de 65°C, según viscosidad creciente, muestra claramente la diferencia en la viscosidad entre el mosto con y el mosto sin esfuerzos de corte [252]. Se puede reconocer aquí un incremento importante de la viscosidad de 0,22 mPa·s, en promedio, y de 0,928 mPa·s, como máximo, debido a esfuerzo de corte (la abreviación APH indica únicamente el tipo de tratamiento de las muestras).

La mayor parte (75 - 96%) del aumento de viscosidad, debido a esfuerzo de corte, es -según la variedad y la duración de germinación- debida a los β-glucanos y los pentosanos de

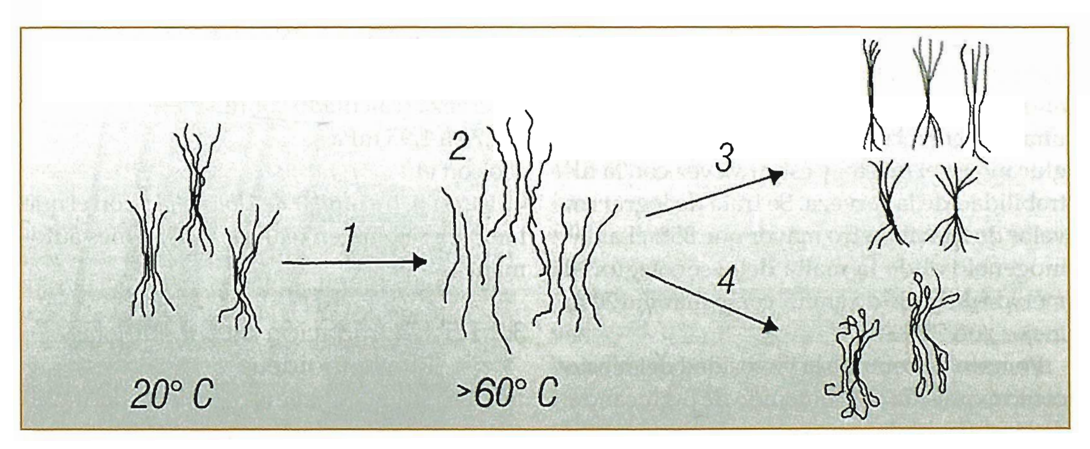


Figura 3.27b
Cambios en estructura y comportamiento del β-glucano en un medio caliente y durante el enfriamiento
(1) ruptura de los puentes de hidrógeno, (2) β-glucano activado térmicamente, (3) esfuerzos de corte, (4) no hay esfuerzos de corte

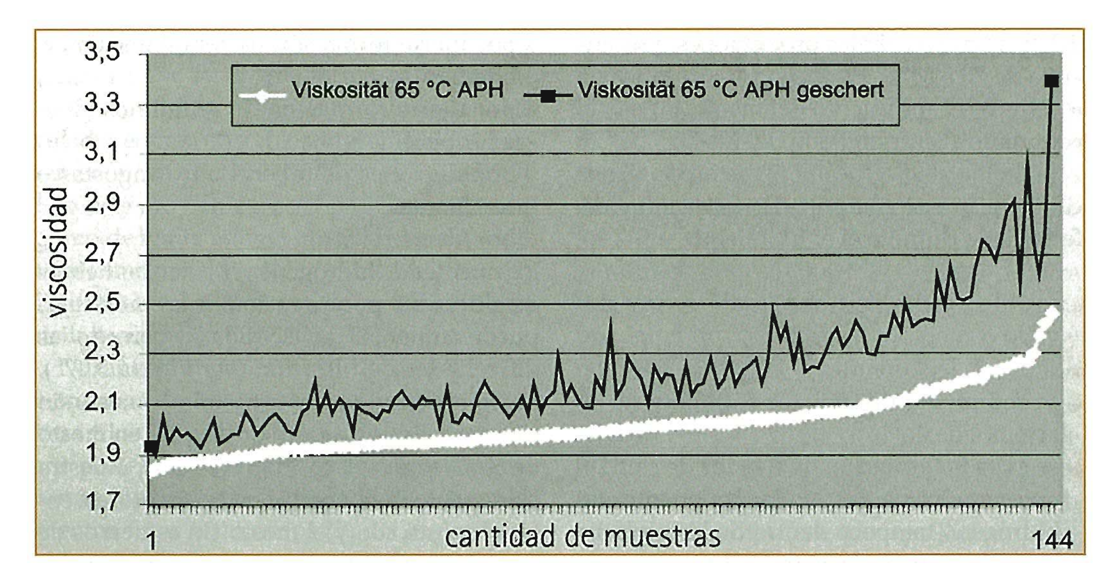


Figura 3.27c
Influencia del esfuerzo de corte (también llamado de cizallamiento) sobre la viscosidad

las paredes celulares [252]. Esto acentúa la necesidad de una citólisis minuciosa en la maltería. El valor de friabilímetro de la malta, el método de lijado de granos, según Carlsberg (ver Sección 2.8.2.10) y la viscosidad del mosto congreso de malta indican una característica decisiva de control respecto de si se han podido obtener valores bajos de ß-glucano de alto peso molecular. Estos indicadores tienen una alta correlación con el contenido de β-glucano en el mosto, y éste a su vez con la filtrabilidad de la cerveza. Se trata de lograr un valor de friabilímetro mayor que 85%. La homogeneidad de la malta debe ser, según el método de lijado de grano, como mínimo 70%, mejor aún 75%.

Por esto, se controla la viscosidad del mosto como expresión del contenido de β-glucano y de las dificultades a esperar en la clarificación y en la filtración. La viscosidad es medida con el

▶ *viscosímetro de bola, de Höppler* (Figura 3.28). Se mide aquí el tiempo de caída de una bola normalizada, al pasar cayendo ésta entre dos líneas anulares en un tubo de vidrio lleno con el líquido de ensayo.

El resultado se indica en mili-pascal-segundos (mPa·s). Son valores normales aquí

- mosto congreso (calculado sobre 8,6%) 1,51 a 1,60 mPa·s.
- mosto caliente (calculado sobre 12%) 1,73 a 2,20 mPa·s.
- cerveza (calculado sobre 12%) 1,78 a 1,95 mPa·s.

o con el

▶ *viscosímetro capilar de Ubbelohde*, con el que también se pueden realizar mediciones automáticas.

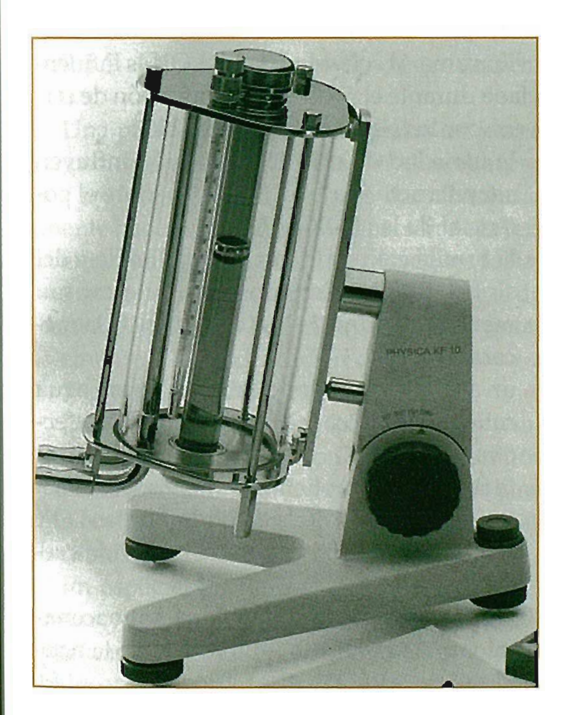
3.2.1.5 Degradación de substancias albuminoideas

A más tardar durante el cocimiento del mosto son precipitadas todas las proteínas (de alto peso molecular), con excepción de reducidas cantidades. Por ello, llegan a la cerveza únicamente productos de degradación, que sin embargo son absolutamente necesarios para la propagación de la levadura y una rápida fermentación.

	Influencia positiva	Influencia negativa
productos de degradación de alto peso molecular	formadores de espuma sabor (cuerpo)	formadores de enturbiamiento
productos de degradación de bajo peso molecular	nutrientes de levadura	

La degradación enzimática de las substancias albuminoideas debe ser vista de forma diferenciada:

- a temperaturas de 45 a 50°C se forman productos de degradación de proteínas de bajo peso molecular, en especial péptidos y aminoácidos,
- a temperaturas de 60 a 70°C se forman más productos de degradación de alto peso molecular, que son responsables de la estabilidad de la espuma.



Las temperaturas óptimas de las enzimas proteolíticas se encuentran en:

- Endopeptidasa 45 - 50°C
- carboxipeptidasa 50°C
- aminopeptidasa 45°C
- dipeptidasa 45°C

Los aminoácidos son absolutamente necesarios para la nutrición de la levadura. Esto es de gran importancia. La levadura requiere mínimamente 10 a 14 mg α-aminonitrógeno/100 ml de mosto.

Dado que el aminoácido prolin no puede ser aprovechado como proveedor de α-aminoácido por parte de la levadura, el mosto debe contener 20 mg/100 ml, como mínimo. Si esto no está asegurado, se produce

- una reducción en la propagación de levadura,
- un retardo de la fermentación y de la maduración y, con ello,
- la conservación en la cerveza de substancias indeseables de sabor de cerveza verde.

De la malta bien modificada se obtienen siempre mostos con suficientes α-aminoácidos. Sin embargo, si se utiliza también azúcar o jarabe, éstos no aportan aminoácidos al mosto y se debe mantener un reposo (de aminoácido) a temperaturas de 45 a 50°C. Pero si se utiliza malta bien modificada, no se tiene que mantener un reposo a temperaturas de 45 a 50°C, debido a la degradación de proteínas:

▶ *Un reposo prolongado a temperaturas de 45 a 50°C produce siempre una espuma pobre.*

Las proteínas positivas para la espuma provienen de la fracción de hordeína y de glutelina. Especialmente positivas para la espuma son la proteína de transferencia de lípidos (LTP1) con 10 kDa y la proteína Z con 40 kDa.

Figura 3.28
Viscosímetro de bola, de Höppler

Su formación, respectivamente liberación, ocurre a temperaturas mayores que 60°C.

3

3.2.1.6 Transformación de grasas (lípidos)

Durante la maceración, una parte de los lípidos componentes en la malta es degradada a glicerina y ácidos grasos, por parte de las enzimas (lipasas) degradadoras de grasa.

Se debe prestar especial atención a la degradación tanto oxidativa como enzimática de los ácidos grasos no saturados con tendencia a reaccionar, los cuales son transformados, tanto por las lipooxigenasas como por el oxígeno, a productos intermedios. Estos últimos luego aportan, como carbonilos de envejecimiento, en la cerveza almacenada el sabor a oxidación (llamado cardboard flavour), debido a envejecimiento. Durante mucho tiempo se asignaba al (E)-2-Nonenal la función de la substancia principal del sabor a oxidación, debido a envejecimiento [253]. Dado que el Nonenal también es degradado, su importancia tiene hoy en día un menor valor informativo.

Ya las cantidades más pequeñas de ácidos grasos no saturados, que llegan a la cerveza en forma de productos intermedios, implican un riesgo para la estabilidad de sabor de la cerveza. Los ácidos grasos no saturados son degradados muy rápidamente a productos intermedios, que pueden ser tenidos en cuenta como predecesores de sabor a envejecimiento [168].

La oxidación de los ácidos grasos comienza con la destrucción del sistema reducido "grano de malta". Es decir, con la trituración. Dado que siempre hay ácidos grasos en la malta, sólo es posible impedir su oxidación manteniendo estrictamente apartado al oxígeno. Pero una mirada a los dispositivos de mezcla muestra la acción intensiva entre molienda de malta, agua y justamente aire durante la molturación. Es por eso que se trata de restringir la influencia del oxígeno ya desde el inicio.

Pero tampoco una completa eliminación del oxígeno podría impedir una degradación enzimática por parte de las lipooxigenasas. Las lipooxigenasas (LOX) fueron formadas durante la germinación y depositadas con preferencia en las acrospiras y las raicillas. Por ello, la enzima está enriquecida en la malta especialmente en la acrospira. La enzima tiene un valor pH óptimo de 6,0 y es muy sensible a las altas temperaturas. Por este motivo, una parte importante de las lipooxigenasas (LOX) fue destruida durante el tostado, más en la malta oscura que en la pálida. Sin embargo, queda activado en la malta más de un tercio de las lipooxigenasas.

Debido a la molturación, las lipooxigenasa (LOX) que se encuentran en las acrospiras son rápidamente activadas y pueden disociar ácidos grasos no saturados en un tiempo relativamente breve, con las aun a menudo bajas temperaturas de mezcla y el elevado valor pH del agua de mezcla. Con esto pueden producir productos de autooxidación, que pueden conducir más tarde a los carbonilos de envejecimiento.

En suma, la actividad de las LOX es influenciada durante el proceso de fabricación de cerveza por los siguientes factores [256]:

- la variedad de cebada y la región influyen sobre la actividad de las LOX y sobre el potencial de las LOX en la malta,
- la fumigación de la tolva de molienda y del sinfín distribuidor con gas inerte causan menor actividad de las LOX durante la maceración,
- un acondicionamiento de la malta con agua caliente a 80°C causa una inactivación efectiva de las LOX,
- la finura de la molienda influye sobre la actividad de las LOX; la actividad de las LOX se incrementa con finura de molienda creciente,
- la temperatura de molienda y el almacenamiento de la misma influyen sobre la actividad de las LOX,

- una duración breve de mezcla y bajos valores pH de maceración de 5,1 a 5,2 reducen la actividad de las LOX,
- la temperatura de mezcla es de máxima importancia para la formación de hidroperóxidos y la actividad de las LOX durante la maceración; se recomiendan temperaturas de mezcla de más de 60°C.

Pero durante la maceración se disuelven también otros ácidos grasos saturados, sin olvidar el 5 a 7% de grasa contenida en los amiloplastos. Una filtración de mosto turbia y una separación pobre del precipitado pasan mayores cantidades de ácidos grasos libres al mosto, los cuales pueden contribuir a problemas de filtración.

Sin embargo, se forman también durante la fermentación ácidos grasos, que son requeridos por la célula de levadura para la formación de la plasmalerna. Más tarde pueden ser segregados progresivamente por la levadura, durante el almacenamiento, en especial los de cadena media, que pueden influenciar negativamente la espuma.

3.2.1.7 Otros procesos de degradación y disolución

Una parte de los fosfatos ligados de forma orgánica y aún no disueltos es disuelta por las fosfatasas. Estos fosfatos son absolutamente necesarios para la realización de la fermentación alcohólica. Una parte de los fosfatos se transforma con las sales formadoras de dureza del agua y contribuye con esto notablemente a la modificación del valor pH y a la tamponación del mosto.

Durante la maceración, con duración y temperaturas en aumento, son liberados taninos y antocianógenos de las cáscaras y también del endospermo. Este proceso es controlable limitadamente durante la maceración.

En especial los taninos de alto peso molecular y los antocianógenos tienen una importancia esencial para la formación de turbideces en la cerveza, donde se combinan con substancias albuminoideas de alto peso molecular y precipitan. También tienen una influencia negativa sobre el sabor de la cerveza. Los taninos tienen un efecto positivo en estado de bajo peso molecular, debido a su acción reductora. Este poder reductor puede ser mantenido, evitando la absorción de oxígeno, ya durante la maceración y la clarificación.

Liberación de cinc

El oligoelemento cinc es de gran importancia fisiológica para la síntesis de proteínas, la propagación celular de la levadura y, con ello, para la fermentación. Si hay una deficiencia de cinc, se produce la propagación tardía de levaduras, la fermentación tardía y una reducción incompleta del diacetilo. Por eso, estamos interesados en mantener en lo posible el cinc contenido en la malta.

Del contenido de cinc en la malta, entra en solución durante la mezcla sólo aproximadamente el 20%, y el contenido de cinc continúa luego disminuyendo durante el desarrollo de la maceración. Si se baja por debajo de un umbral de 0,10 a 0,15 mg/l, pueden producirse las dificultades de fermentación nombradas.

Un mayor contenido de cinc es favorecido por:

- un menor valor pH,
- menores temperaturas de proceso de mezcla
- una proporción carga:agua de mezcla (colada) de 1:2,5

Existen diferentes posibilidades para equilibrar la deficiencia de cinc:

- La adición de cloruro de cinc, tal como es usual en otros países, no está permitida, según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".
- Dado que el cinc se disuelve sólo parcialmente en la templa, permaneciendo la mayor parte en las heces, se puede alcanzar el contenido necesario de cinc, dejando reposar una pequeña cantidad de heces junto con un ácido biológico en una proporción aproximada de 1:1 durante un día aproximadamente y precipitándola luego, para

3

posteriormente esterilizar la solución enriquecida con cinc y agregarla en pequeñas dosis a la levadura de dosificación.

- Dado que en solución ácida el cinc se transforma relativamente fácil, las paredes del recipiente de acidificación pueden ser de cinc. Sin embargo, dado que se pican y destruyen prontamente, es suficiente colocar en el recipiente de acidificación biológica una chapa de cinc como ánodo de sacrificio. ¡Pero esta medida no se corresponde con la Ley de Pureza "Reinheitsgebot"!

3.2.1.8 Acidificación biológica

Debido a la acción conjunta de las sales de calcio y magnesio en el agua, activas sobre el pH, en especial con los fosfatos y otros componentes de la malta, el valor pH en la templa se ajusta en aproximadamente 5,6 a 5,8. Hemos visto ya que hay una serie de procesos y modificaciones que se desarrollan notablemente más rápido y mejor con valores pH más bajos.

Es por eso que se está interesado en disminuir notablemente el pH hasta un valor de 5,1 a 5,2. El descenso ocurre

- por adición de ácidos minerales, siempre que esto esté permitido por ley, o
- por acidificación biológica; es decir, por cultivo de bacterias lácticas, las cuales de por sí son un componente de la superficie de malta y, por eso, no son una substancia extraña. Las bacterias lácticas generan abundante ácido láctico capaz de reducir el valor pH.

De acuerdo con el momento de la acidificación se diferencia aquí

- la acidificación de la templa, y
- la acidificación del mosto.

Ambos métodos son usuales, de forma combinada o individual.

Una medida importante es la acidificación de la templa al inicio del proceso de maceración y/o la acidificación del mosto. Como ventajas se tienen [137]:

- se mejora notablemente la cantidad de enzimas disponible, porque son activadas todas las enzimas importantes, con excepción de la α-amilasa,
- con valores pH bajos, entran más substancias de crecimiento en solución, por ejemplo se mejora la cantidad de cinc disponible,
- se incrementa el rendimiento de extracto,
- se mejora la separación de proteínas (mejor formación de flóculos),
- se mejora el potencial Redox, con lo cual se desarrolla una menor susceptibilidad al oxígeno,
- la filtración de mosto ocurre más rápidamente,
- durante el cocimiento del mosto se atenúa el aumento de la coloración,
- las fosfatasas son estimuladas en su actividad e incrementan, por liberación de fosfatos, la capacidad de tamponación,
- el desarrollo de la fermentación es más rápido, debido a una mejor separación del trub, una reducción más veloz del valor pH y un mayor grado de fermentación en la cava,
- la filtración es mejorada por valores de viscosidad más bajos,
- el sabor tiene un toque más justo, es más lleno y más suave,
- el amargor del lúpulo es más agradable y no es remanente,
- la cerveza es reciente, más fresca en su sa-
- bor, más expresiva y de más carácter,
- la espuma es de burbujas más finas y más estable,
- el color de la cerveza es más claro,
- se puede esperar una mejor estabilidad de sabor, teniendo en cuenta que las lipooxigenasas son sensibles a valores pH menores que 5,2, no siendo efectivas ya entonces,
- se mejora la estabilidad químico-física, menor tendencia a turbidez por proteínas,
- se estimula la digestión, influencia positiva del ácido láctico,

- disminución de la susceptibilidad biológica de la cerveza, por
- el bajo valor pH: los parásitos de la cerveza ya no crecen con un valor pH por debajo de 4,4,
- la mayor atenuación límite -por ello, menor cantidad disponible de azúcares no fermentables-, y
- mayor presión selectiva de la levadura, que repele a los parásitos como competidores.

Todos éstos son buenos motivos para una acidificación biológica de la templa al inicio de la maceración. Dado que las fosfatasas liberan partes importantes de los fosfatos, los cuales cumplen una parte importante en la tamponación, se compensa nuevamente una parte del desplazamiento del pH. Por ello, vale la pena acidificar también el mosto. Vemos, sin embargo, que es mejor realizar la acidificación del mosto al final o recién después del cocimiento del mosto.

Durante la fabricación del mosto debe tratarse de lograr un valor pH óptimo de 5,1 a 5,2.

Según la acidificación se diferencian

- la adición de ácidos minerales, o
- la acidificación biológica.

3.2.1.8.1 Adición de ácidos minerales

Con excepción de los países en los cuales se fabrica la cerveza de acuerdo con la Ley de Pureza "Reinheitsgebot", se adiciona a veces ácido a la templa y/o al mosto; por lo general, se utiliza ácido fosfórico, frecuentemente también ácidos minerales, tales como ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, del cual se dice que causa una coloración negra en el acero inoxidable, por corrosión.

La adición de ácido debe ser determinada de forma precisa por titulación (ver Sección 3.2.1.8.2). El ácido se disocia inmediatamente en la enorme cantidad de templa, respectivamente de mosto, encontrándose luego presente solamente en forma de iones. Esto se les debería decir también a los clientes, que sienten enseguida un ardor estomacal de la última cerveza bebida, en cuanto se enteran de una adición de ácido.

Para disminuir el valor pH en 0,1, se debe adicionar

- a la templa 0,64 de ácido equivalente /100 kg de malta en la templa, o
- al mosto caliente 0,32 de ácido equivalente /100 kg de malta para el mosto de paila llena. Esto resulta en las siguientes adiciones de ácido por cada 100 kg de malta [167]:

Ácido	Adición a la templa g	= ml	Adición al mosto g	= ml
ácido láctico al 100%	58		29	
ácido láctico al 80%	72	60	36	30
ácido clorhídrico al 37%	63	53	32	27
ácido sulfúrico al 98%	32	17	16	9

3.2.1.8.2 Fabricación de producto acidificante

En Alemania se utiliza ácido láctico obtenido biológicamente para la acidificación y se lo detalla a continuación.

El razonamiento básico de la acidificación biológica de la templa y/o del mosto es el siguiente:

No está permitida la adición de substancias extrañas, según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot". La malta no es una substancia extraña, pero contiene sobre su superficie cantidades masivas de bacterias lácticas. Estas bacterias lácticas generan a una temperatura óptima de 48°C hasta 2% de ácido láctico en la solución; más no es soportado por ellas mismas.

Si se les diera a las bacterias lácticas la posibilidad de propagarse en toda la templa o el mosto y de formar ácido láctico, todo el cocimiento sería ácido y estaría arruinado. Para reducir el valor pH a un valor prefijado, se

debe preparar una solución de ácido láctico, y adicionar, de ésta, a la templa y/o al mosto una cantidad de ácido láctico calculada de forma exacta.

Para la acidificación biológica, es precondición básica una cepa adecuada de ácido láctico. Para ello, se recomiendan cultivos puros de

Lactobacillus amylovorus, o
Lactobacillus amylolyticus [137, 206]:

- ambas formas de lactobacillus tienen una gran dominancia de crecimiento en el mosto de cerveza (de crecimiento rápido),
- poseen una alta capacidad de acidificación hasta 2% de ácido láctico y actúan hasta un valor pH <3,
- forman -al contrario de otras bacterias lácticas- 2 moléculas de ácido láctico, a partir de glucosa (son homofermentativas. Es decir que forman sólo productos metabólicos de igual tipo),
- muestran un crecimiento a altas temperaturas hasta 52°C,
- fermentan también dextrinas y almidón,
- forman una elevada porción de l-lactato, que es de importancia fisiológico-nutritiva,
- no son dañinas a la cerveza (son sensibles al lúpulo y no crecen a temperaturas por debajo de 30°C),
- no forman aminas u otras toxinas ni diacetilo, y
- los cultivos se pueden utilizar fácilmente.

La propagación tiene lugar en una planta de acidificación (Figura 3.29), que consiste de un tanque de fermentación para medio ácido (1) y un tanque de acumulación (2), cuyo volumen debería ser aproximadamente tres veces el del tanque de fermentación para medio ácido.

En el tanque de fermentación para medio ácido se mezclan mosto acidificado y primer mosto diluido, en una relación de aproximadamente 1:1, a exactamente 48 ± 1°C y se mantiene esta temperatura estrictamente. Dado que las bacterias lácticas crecen mejor en ausencia de aire y los contaminantes aerobios (por ejemplo, levaduras Cándida) son repelidos, se fumiga el producto acidificante con CO_2.

Lo mejor sería que el desarrollo de la acidificación biológica esté ajustado de manera tal que el fermentador se vacíe en una mitad al tanque de acumulación (2) al ritmo del cocimiento y que sea llenado enseguida nuevamente con la misma cantidad del primer mosto diluido del cocimiento siguiente. El contenido en ácido es aproximadamente 0,8 a 1,2% de ácido láctico.

El mosto acidificado bombeado al tanque de acumulación continúa acidificándose hasta 1,8 a 2,2% y puede ser extraído por la parte inferior con el valor final de acidificación.

Durante la acidificación de la templa se adicionan, por experiencia, aproximadamente

- 1% al mezclar, y
- 1 a 2% al final de la cocción.

En el caso de acidificar solamente el mosto, se adiciona aproximadamente

- 2% al mosto caliente.

Según el número de cocimientos diarios y el tamaño de la planta, se requiere una correspondiente cantidad de recipientes (Figura 3.29a). Debe considerarse que en el tanque de acumulación siempre tiene lugar una posacidificación hasta un contenido de ácido láctico de 1,8 a 2,2%. Una cantidad mayor de su propio producto metabólico excretado, el ácido láctico, tampoco es soportada por las bacterias lácticas, de manera que este nivel se regula por sí mismo.

Es posible calcular la cantidad requerida de ácido láctico. La cantidad necesaria se deduce de la tabla siguiente. Para disminuir en 0,3 el pH de una templa o un mosto, producidos a partir de 10 dt de carga (65 hl a 11,5%), se requiere, con una solución de ácido láctico al 0,8%

- en la templa
  3 (·0,1 pH)·60 ml/kg·1000 kg = 180000 ml = 180 l
- en el mosto
  3 (·0,1 pH)·30 ml/kg·1000 kg = 90000 ml = 90 l

De acuerdo con esto, se puede calcular con el siguiente requerimiento de ácido láctico (en ml) por kg de malta (= l/t de carga), aplicando una solución de ácido láctico al 0,8%:

Disminución del pH en	por adición a la templa	al mosto
0,1	60	30
0,2	120	60
0,3	180	90
0,4	240	120

Determinación de la concentración de ácido láctico

Para determinar la concentración reinante de ácido láctico, se debe producir primeramente una solución madre [15]:

Se colocan 4 l de agua corriente a temperaturas de 46 a 48°C con 1 kg de malta sin triturar en un matraz de 5 l y se deja a éstos en un gabinete de temperatura constante durante 48 a 72 h. El matraz debería estar provisto de una válvula de seguridad.

3

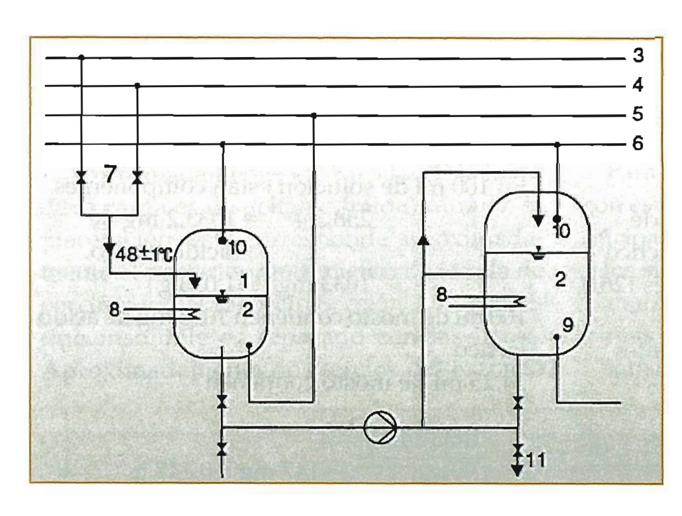


Figura 3.29
Esquema de instalación para acidificación biológica
(1) tanque de fermentación para medio ácido, (2) tanque de acumulación, (3) primer mosto, (4) agua de cal desgasificada, (5) dióxido de carbono (6) tubería para proceso CIP, (7) dispositivo de mezcla, (8) calentador de inmersión, (9) frita (10) cabezal rociador para proceso CIP (11) al recipiente de cocimiento

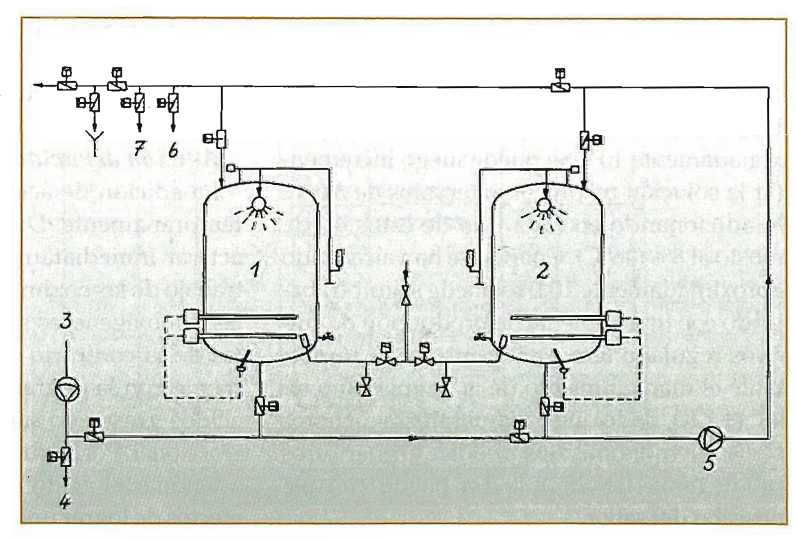


Figura 3.29a
Planta de acidificación biológica
(1) tanque de fermentación para medio ácido,
(2) tanque de almacenamiento para producto acidificante,
(3) del tanque de espera,
(4) a la paila de mosto,
(5) bomba de producto acidificante,
(6) a la cuba de maceración,
(7) a la paila de mosto

Control de la concentración de ácido láctico

El control de la concentración de ácido láctico se realiza por titulación. Para ello se titulan 25 ml de la solución madre contra n/10 NaOH. Vale en esto:

- *1 ml n/10 NaOH corresponde a 9 mg de ácido láctico.*

Por lo general, se titula con el indicador azul de bromotimol (0,1 g de azul de bromotimol en 100 ml de alcohol al 20%). Este indicador cambia de color en un valor pH de 7,0 (ácido = amarillo, alcalino = azul).

Ejemplo:

Para una solución de 25 ml se consumen 14,1 ml de NaOH hasta que se produce el cambio de color.

1 ml n/10 de NaOH = 9 mg de ácido láctico

14,1 ml de n/10 NaOH = 9·14,1
= 126,9 mg de ácido láctico

En 25 ml de solución hay componentes 126,9 mg de ácido láctico

En 100 ml de solución hay componentes

126,9·4 = 507,6 mg

507,6 mg = 0,51 g/100 ml

En la solución hay componentes 0,51 g de ácido láctico/ 100 ml ˜ 0,51%.

Incremento de la solución madre

De la solución madre se pueden obtener aproximadamente 2 l de solución de ácido láctico, que son pasados a un recipiente de aproximadamente 10 l. Se puede luego incrementar la solución madre, en intervalos de 8 a 12 h, adicionando en cada uno de éstos 4 l de mosto al 8% (46°C). Cuando se han alcanzado aproximadamente 10 l, se puede seguir trabajando con un recipiente de producción de cultivos regulado termostáticamente. Es importante el mantenimiento de la temperatura de 48° (± 1 K), dado que a temperaturas menores otros microorganismos pueden formar otros productos metabólicos, lo cual puede ir en menoscabo del sabor.

Ejemplo:

Cálculo de la cantidad de ácido láctico para el mosto de paila llena

Para llevar 1 l de mosto de paila llena con un valor pH de 5,54 a un pH de 5,20, se consumieron 14,25 ml de solución madre de ácido láctico. El valor de titulación de la solución madre se encontraba en 28,7 ml n/10 NaOH. ¿Cuántos g de ácido láctico (100%) se deben agregar por cada hl?

Sabemos que:

1 ml de n/10 NaOH = 9 mg de ácido láctico, entonces:

28,7 ml de n/10 NaOH = 28,7·9
= 258,3 mg de ácido láctico.

En 25 ml de solución están componentes 258,3 mg de ácido láctico

En 100 ml de solución están componentes

258,3·4 = 1033,2 mg de ácido láctico.

1033 mg = 1,033 g

100 ml de mosto contienen 1033 mg de ácido láctico

14,25 ml de mosto contienen

$$\frac{1033 \cdot 14{,}25}{100} = 147 \text{ mg} = 0{,}147 \text{ g ácido láctico}$$

Para 1 l se requirieron 0,147 g de ácido láctico,

para 1 hl se requieren 14,7 g de ácido láctico.

Adición del ácido láctico

La adición de ácido ocurre, en lo posible, tempranamente. De esta manera, es posible activar inmediatamente de forma amplia el trabajo de las enzimas y restringir el efecto de las lipooxigenasas sensibles al ácido, las cuales de lo contrario comenzarían inmediatamente con la degradación enzimática de los ácidos grasos no saturados con tendencia a reaccionar. Por supuesto que también se puede adicionar el ácido al agua de mezcla, a los efectos de lograr una adición lo más temprana

posible. Pero para ello se requiere un recipiente separado. Además, la Ley de Pureza "Reinheitsgebot" prohíbe una adición tal.

Sin embargo, es posible y tiene sentido una adición dosificada del ácido durante la mezcla en el molino triturador de malta húmeda (ver Sección 3.2.3.3).

La adición de ácido durante el cocimiento de mosto se realiza usualmente poco antes del final del cocimiento. De este modo se posibilita que las resinas de lúpulo sean previamente isomerizadas mejor en el rango alcalino, siendo así mejor aprovechadas.

Además, se reduce el período de mitad de intercambio en la disociación del SMM en DMS, debido a un valor pH más elevado.

3.2.1.9 Composición del extracto

Aproximadamente, el 75 a 80% de la masa de la carga es disuelta (extraída) durante la maceración -esto corresponde aproximadamente al posterior rendimiento de la sala de cocción; ver al respecto Sección 3.5-, el residuo insoluble es separado con las heces. Aproximadamente dos tercios del extracto formado durante la maceración (Figura 3.30) -63 a 68%- está compuesto por azúcares fermentables. La composición promedio de estos azúcares fermentables es, con un contenido de mosto original del 11 al 12% [258]:

maltosa	65,5%
maltotriosa	17,5%
sacarosa	5%
glucosa y fructosa	12%.

Aquí, la fracción de fructosa es baja (0,8 - 2,8%)

La parte restante, no fermentable del extracto, está compuesta principalmente por dextrinas límite, substancias albuminoideas, gomas y minerales (ver al respecto Sección 4.3.3.3).

3.2.1.10 Conclusiones para la realización de la maceración

Para la realización de la maceración, resulta con esto una serie de conclusiones y, desde el inicio de la mezcla, se debe prestar atención a los siguientes parámetros:

- mantenimiento de las temperaturas óptimas y observación de las temperaturas máximas de las enzimas,

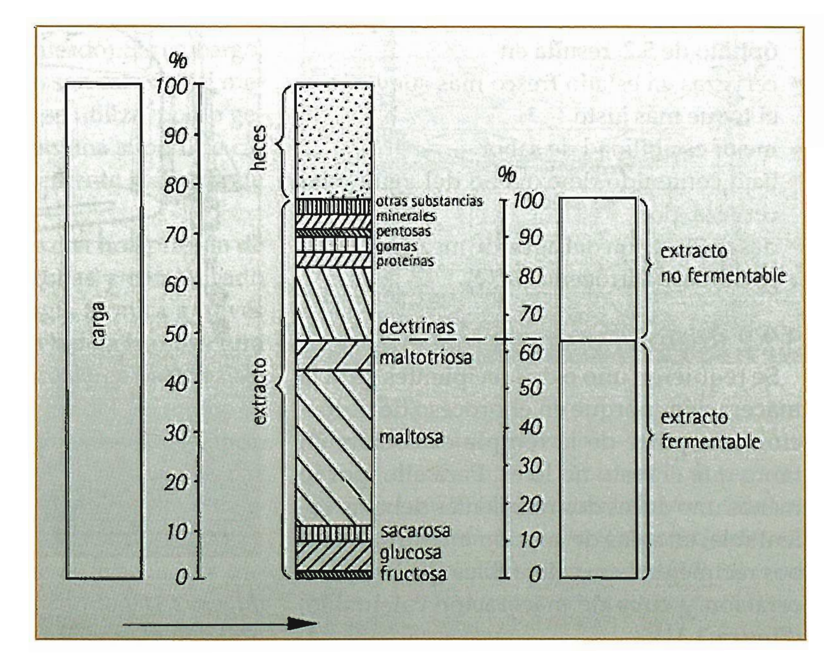


Figura 3.30
Composición del extracto

- evitar la influencia dañina del oxígeno sobre la calidad de la cerveza,
- aprovechamiento de la influencia del valor pH sobre las transformaciones y procesos,
- evitar la formación de esfuerzos de corte.

Esto incluye los siguientes factores:

- acondicionamiento de la malta a alta temperatura,
- breve tiempo de mezcla,
- mezcla uniforme, sin formación de grumos,
- evitar la absorción de oxígeno,
- bombeo desde abajo,
- utilización de agua de mezcla desgasificada,
- agitador con regulación continua, controlada por frecuencia,
- alta potencia durante el calentamiento, reposo a potencia media,
- bomba de mezcla controlada por frecuencia, sin contacto con el aire,
- evitar esfuerzos de corte innecesarios,
- cañerías con codos de radio amplio,
- altas temperaturas de mezcla (mayores que 60°C),
- un valor pH de maceración menor que 5,4, óptimo de 5,2, resulta en
- cervezas en estado fresco más suaves, con el toque más justo
- mejor estabilidad de sabor
- bajo contenido de oxígeno del agua para cerveza, por
- desgasificación del agua de mezcla o fumigación con nitrógeno o CO_2.

3.2.2 Recipientes para macerar

Se requieren uno o dos recipientes para la maceración, porque en el proceso de decocción una parte de la templa es cocida, en tanto que el resto no lo es. Para ello, por lo menos uno de los dos recipientes debe ser calentable; en salas de cocción modernas, ambos recipientes son calentables (paila de maceración y cuba de maceración calentable) (Figura 3.31).

3.2.2.1 Recipientes de maceración

El diseño de la paila de maceración corresponde esencialmente al de la paila de mosto. Pero es más pequeña, dado que el volumen de templa total es mucho menor que el de mosto de paila llena. Pero si se trabaja con infusión, se necesita sólo un recipiente de maceración (paila de maceración) calentable.

De gran importancia es el dimensionamiento del agitador. Su velocidad debe estar adecuada al diámetro de la paila y la velocidad periférica no debería exceder de 2 m/s (máximo 3 m/s), dado que si no partes de la templa son sometidas a esfuerzos de corte, que pueden modificar los componentes de la misma (Sección 3.2.4.1).

De gran importancia es el sistema calefactor de la paila de maceración. Los sistemas calefactores por vapor, con doble fondo, usuales antaño, ya no corresponden al estado

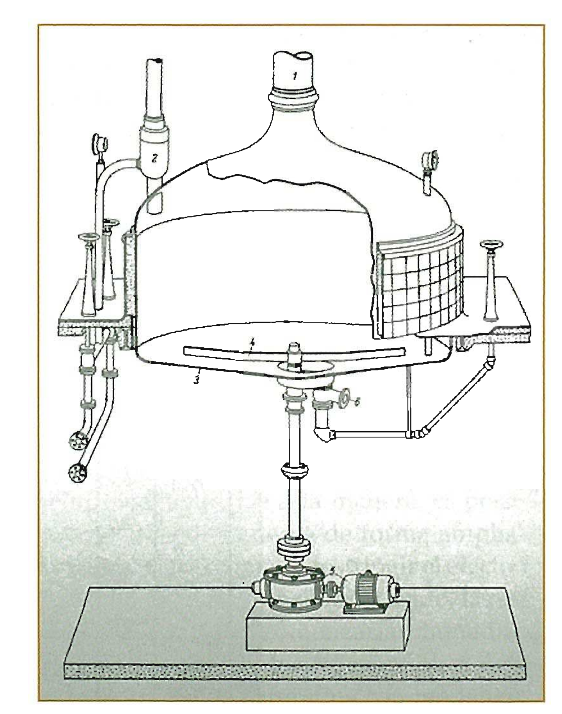


Figura 3.31
Cuba de maceración (construcción antigua)

tecnológico actual. Debido a su gran superficie, se corre un gran riesgo de daños por formación de vacío, si se olvida abrir la válvula de aire al final de la cocción. En ese caso, se contrae el fondo de la paila y se deforma hasta ser inutilizable. Asimismo, la transferencia de calor de los fondos dobles es pobre.

Calentamiento por medio de tubos semicirculares

Hoy en día el calentamiento es realizado por medio de tubos calefactores semicirculares, soldados al fondo de la paila y los cuerpos (Figura 3.32). Se obtiene así una transferencia de calor mejorada en aproximadamente un 20%.

En lugar del cobre, de buena conducción térmica, se pasó a utilizar el acero inoxidable, más barato. Además, el cobre no es apropiado para procesos CIP. Pero como el acero al cromo-níquel tiene un coeficiente de conductividad térmica relativamente pobre, las partes calentadas de la paila son construidas a veces de acero "negro", que tiene un coeficiente de conductividad térmica notablemente mejor y al cual se le sobrelamina un capa fina de acero al cromoníquel (llamado acero plaqueado). Sin embargo, los materiales plaqueados son caros en el mecanizado, de manera que se utiliza, por lo general, acero inoxidable con una superficie calefactora correspondientemente más grande (Figura 3.33).

El vapor es introducido con una presión de 2 a 3 bar (m) en varias zonas y condensado mientras entrega su energía térmica a través de la pared de la paila. Debido a la estructura rígida de los tubos semicirculares, ya no existe el riesgo de colapso a causa del vacío que se forma luego del cierre de la válvula de vapor. Es por ello que tampoco es necesario ventilar al final de la cocción, no pudiendo ya entonces ingresar aire de arrastre.

El condensado formado es evacuado a través de un recipiente de condensación, que usualmente opera como válvula de flotador. De esta manera, se mantiene la presión en los tubos calefactores, mientras que el agua de condensado es evacuada sin presión.

Calentamiento por medio de inyección directa de vapor

Algunos constructores de máquinas calientan hoy en día los recipientes de maceración por inyección directa de vapor. Esto tiene una serie de ventajas, porque entonces

- ya no se requieren camisa de vapor o tubos calefactores,
- el vapor entrega su calor de evaporación directamente y sin pérdidas, y
- no se forma un condensado separado.

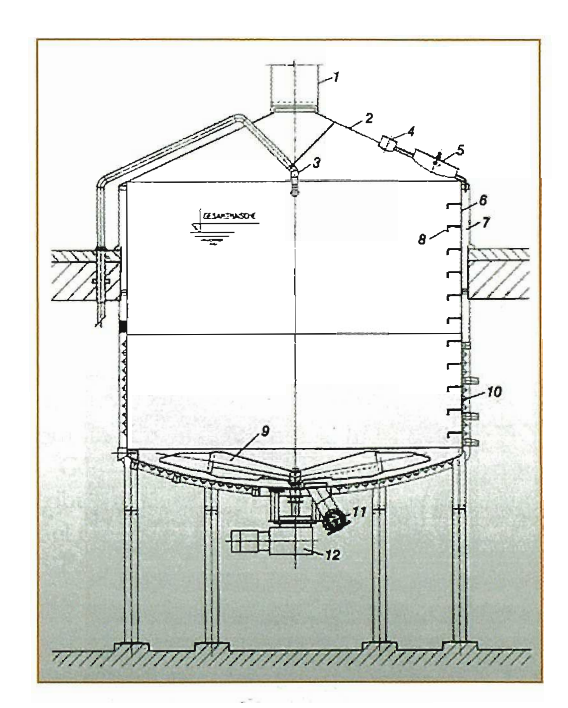


Figura 3.32
Cuba de maceración calentable
(1) chimenea de vapores, (2) campana de vapores, (3) limpieza CIP, (4) iluminación interior, (5) abertura de inspección y entrada, (6) cuerpo lateral, (7) aislación, (8) escalera, (9) agitador, (10) tubos calefactores, (11) entrada y salida de templa, (12) motor de accionamiento

3

El problema radica en que el vapor utilizado debe ser puro y libre de aceite. Esto no siempre puede ser cumplido por el vapor de la caldera normal de la planta. Por ello, el vapor puro debe ser producido en una instalación separada de manera tal que en un generador de vapor puro (Figura 3.33 c; 1) se haga hervir agua pura con ayuda de serpentinas (2) calentadas por vapor, pasando el vapor puro generado (3) a la paila de maceración (5). Dado que el proceso ocurre de forma continua, es conveniente tener intercalado antes un tanque de reserva (8), cuyo contenido de agua sea precalentado por un precalentador (7) y que pueda ser llevado hasta casi la temperatura de ebullición por medio de una inyección adicional de vapor (6). Depende de la situación del agua de planta si es necesario intercalar previamente una instalación de tratamiento de agua (10) o una ósmosis inversa (9).

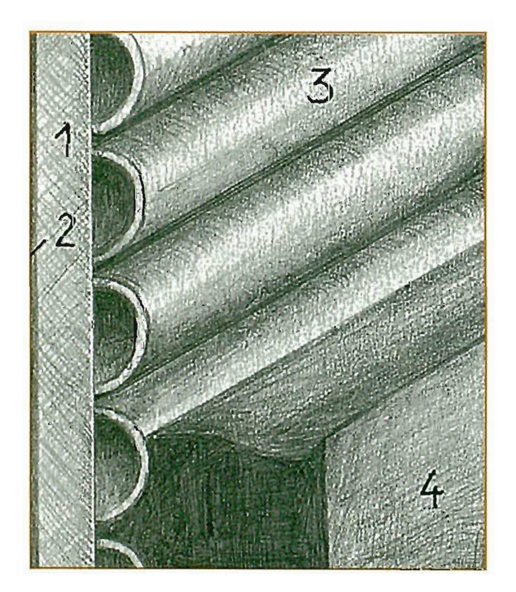


Figura 3.33
Calentamiento por tubos semicirculares soldados
(1) placa de acero, chapa negra,
(2) chapa de acero al cromo-níquel sobrelaminada,
(3) tubos calefactores semicirculares,
(4) aislación

Básicamente, con el tiempo, se incrementan en el generador de vapor puro todas las sales del agua; no sólo las formadoras de dureza. Esto restringe progresivamente la transferencia de calor.

El vapor puro (3) es dosificado al flujo de mosto a través de toberas fijas de dos componentes (ver Figura 3.114), siendo así pulverizado finamente. A continuación, el vapor entrega su calor de evaporación (esto es 2.257 kJ/kg; ver al respecto Sección 10.2.2.1) al mosto y condensa. Por ello, alcanza con generar e introducir el vapor con una muy baja presión (0,5 - 0,7 bar), dado que en primer lugar interesa solamente aprovechar el calor de evaporación en la condensación de las burbujas de vapor. Las burbujas de vapor que ascienden hasta la superficie entregan su calor de evaporación hacia afuera y no cumplen su objetivo de calentar el mosto.

La ventaja del calentamiento por medio de vapor puro estriba

- en la supresión de la camisa de vapor o de los tubos calefactores, y
- en el requerimiento de energía reducido y, con ello, en una disminución de costos.

Para la preparación de los adjuntos se utilizaba antaño una caldera de cocción de adjuntos, en la cual se calentaban y cocían los adjuntos, junto con aproximadamente el 10% de la malta. La caldera de cocción de adjuntos es de igual forma constructiva que la cuba de maceración calentable, pero de menores dimensiones, porque la templa de adjuntos es más pequeña. Antaño se construían las calderas de cocción de adjuntos de forma cerrada, como calderas a presión, y se cocían los adjuntos bajo sobrepresión a más de 100°C. Pero la ganancia en extracto no está en ninguna relación con la cantidad de energía insumida, de manera que se ha pasado desde hace algún tiempo al tipo constructivo abierto (ver Figura 3.33b), siempre y cuando la altitud de la fábrica de cerveza no requiera un cocimiento a presión.

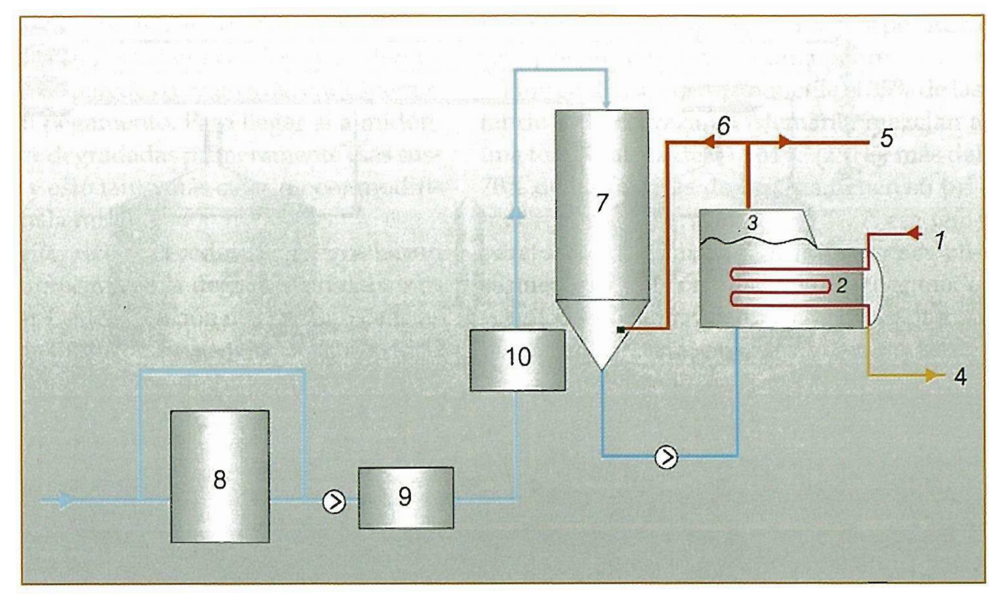


Figura 3.33 c
Producción de vapor puro (Meura, Tournai/B)
(1) generador de vapor puro, (2) vapor de caldera, (3) vapor puro, (4) condensado, (5) vapor puro a la paila de maceración, (6) vapor puro al tanque de reserva, (7) precalentador, (8) tanque de reserva, (9) ósmosis inversa, (10) instalación de tratamiento de agua

Pero muy a menudo se desiste hoy en día de utilizar una caldera de cocción de adjuntos y se utiliza en cambio la paila de maceración. ¡Debe ser rápido y en lo posible barato!

3.2.3 Mezcla

Por mezcla se entiende el proceso de mezclado de la molienda (carga) con el agua (colada), lo más íntimo posible y a la temperatura prevista de mezcla.

3.2.3.1 Adición de agua de maceración

La proporción entre carga y colada principal es muy importante, porque de ella resulta la concentración del primer mosto. Se puede calcular que

1 dt de carga con 3 hl de colada
produce un primer mosto al 20%.

Por supuesto, que se mezcla 5 - 6 % más fuerte, que lo que deberá ser el mosto original de la cerveza. Es decir, con 16 a 20%. Se puede luego pasar todavía suficiente agua a través de las heces, para extraer los azúcares por lavado, en tanto que el mosto se diluye.

Con la adición de agua de maceración se contribuye en la determinación de la composición del mosto y con esto del tipo de cerveza:

Para cervezas claras se elige, por lo general, una gran cantidad de colada

de 3 a 4 hl/100 kg de carga.

Con ello se logran reacciones enzimáticas más rápidas.

Para cervezas oscuras se eligen templas más espesas con

3 a 3,5 hl/100 kg de carga.

Con esto se logra que las substancias aromáticas de la malta puedan contribuir en mayor medida a la templa, por caramelización.

El volumen de la molienda mezclada es *0,7 a 0,8 hl/100 kg de carga.*

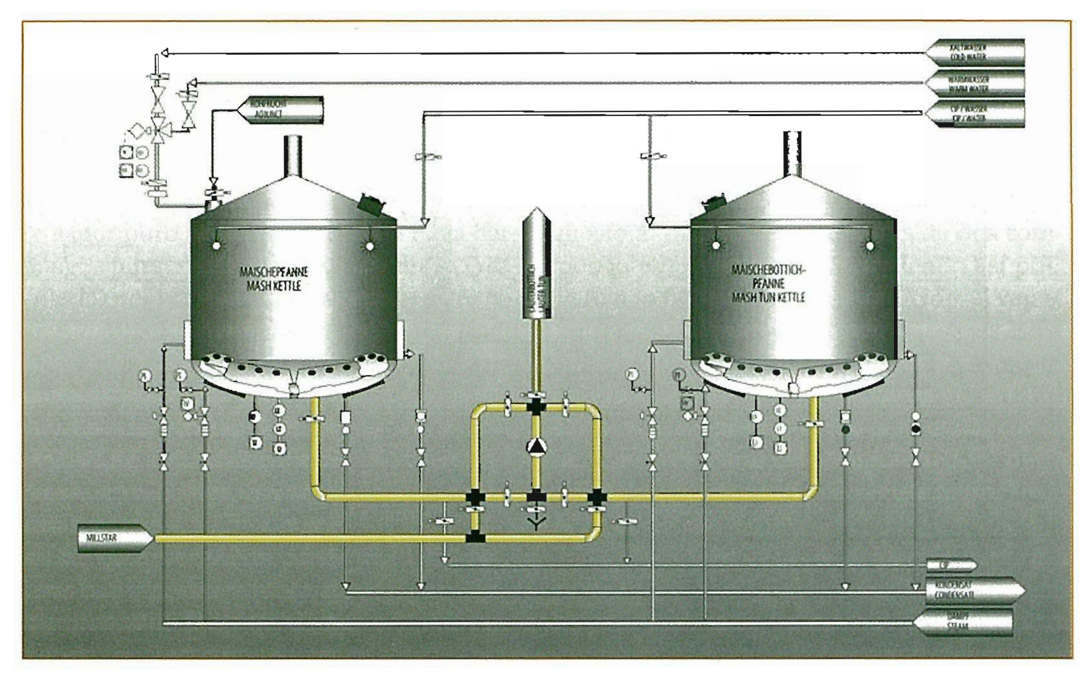


Figura 3.33 b
Conjunto macerador

Problema:
¿Cuántos hl de agua debemos utilizar en la mezcla, para obtener un primer mosto al 18 % con una carga de 1600 kg?
1 dt produce un mosto al 20% con 3 hl de agua (ver más arriba)

16 dt producen un mosto al 20% con
3·16 = 48 hl de agua
16 dt producen un mosto al 18% con

$$\frac{48\ \text{hl} \cdot 20\%}{18\%} = 53{,}33\ \text{hl}$$

Se requieren 53,33 hl de agua, para obtener un primer mosto al 18 % con una carga de 1600 kg.
Estos 53,3 hl de agua producen con 16 dt de molienda
53,3 hl + 16 dt·0,7 hl/dt = 53,3 hl + 11,2 hl = 64,5 hl de templa

3.2.3.2 Temperatura de mezcla

Básicamente, la mezcla es posible a cualquier temperatura. La temperatura de mezcla es marcada por la temperatura óptima de las enzimas que se quiere dejar actuar inicialmente.

Antaño, en las pequeñas fábricas de cerveza, se mezclaba a menudo en frío al anochecer previo a la maceración y se dejaba reposar el cocimiento durante la noche. A esto se lo llamaba digerir (proceso de digestión) y producía también rendimientos un poco mejores, porque las substancias tenían suficiente tiempo para entrar en solución. Pero en esto también entran en solución substancias menos deseables y este proceso ya de por sí está fuera de cuestión, debido al apremio de tiempo actual.

Sin embargo, debido a conocimientos más actuales, las bajas temperaturas de mezcla están nuevamente en discusión: Las células de almidón de la molienda de malta todavía es-

tán rodeadas por una matriz de proteínas, que mantiene unidas la hemicelulosa y los β-glucanos de las paredes celulares del endospermo como un pegamento. Para llegar al almidón, deben ser degradadas primeramente esas sustancias; y esto tanto más cuanto peor modificada está la malta.

Para ello, debe preceder una degradación de los β-glucanos a la degradación del almidón en sí. La degradación de estas substancias ocurre de forma óptima a temperaturas de 45 a 50°C (degradación de proteínas 45 a 50°C, β-glucanasa 45°C), pero estas enzimas ya entran en solución a 35°C, de manera que el substrato ya se encuentra en forma disuelta a las temperaturas óptimas, si se mezcla a 35°C. Con esto se logra una mayor atenuación límite con bajas temperaturas de mezcla, aunque la temperatura de 35°C no tenga nada que ver con la degradación de almidón. Estos hechos pesan a favor de una mezcla a 35°C. Sin embargo, casi nadie mezcla a una temperatura tan baja, porque

- el proceso dura demasiado tiempo,
- el gasto de energía es con ello demasiado alto, y
- son de esperar problemas con la retención de la espuma, debido a que la degradación de proteínas ha avanzado demasiado.

La temperatura de mezcla, usual en la mayoría de las fábricas de cerveza, de alrededor de 50°C (45 a 55°C), tiene la tarea de impulsar una modificación aún incompleta, por degradación de β-glucanos, previniendo con ello contra problemas de clarificación y filtración. Una buena capacidad de filtración y prolongados tiempos de filtración entre regeneraciones de filtro son, sin embargo, factores decisivos para la productividad de la fábrica de cerveza.

Aunque una temperatura de mezcla y un reposo a 50°C se denomina reposo proteico, el mismo incrementa la base ya suficiente de FAN, pero al mismo tiempo reduce el contenido de substancias formadoras de espuma. Un reposo prolongado a esa temperatura siempre produce una espuma pobre.

Hoy en día, aproximadamente el 35% de las fábricas de cerveza en Alemania mezclan a una temperatura de 60 a 64°C [251] y más del 70% de las fábricas de cerveza tienen su primer reposo por encima de 60°C. A esa temperatura, la β-amilasa puede degradar óptimamente el almidón rápidamente engrudado y licuado y formar, debido a la degradación de proteínas, productos de alto peso molecular, que aseguran una mejor retención de la espuma. Pero esto presupone maltas muy bien modificadas.

Un factor limitante está representado por los altos componentes de β-glucanos, los cuales se dan por la inactividad de los β-glucanos, como consecuencia de la temperatura más elevada, y que pueden causar dificultades de clarificación y filtración. Esto se refiere en primer lugar a maltas provenientes de cultivos de variedades impuras de cebada o procesamiento de mezclas de variedades y maltas tales, en las cuales se agregó malta de germinación corta en la maltería para el ajuste de un determinado coeficiente citolítico (grado de modificación proteica, valor de friabilímetro, etc.). La malta de germinación corta contiene inevitablemente muy altos componentes de β-glucanos, que no se reflejan en el valor promedio de los coeficientes citolíticos normales.

Por eso, se propone [206] examinar la malta por medio del método de lijado de granos, según Carlsberg (ver Sección 2.8.2.10), en lo que respecta a su homogeneidad, si se la debe utilizar para altas temperaturas de mezcla. Debería alcanzarse un valor de homogeneidad de 70%, mejor aún, de 75%. El valor de friabilímetro debería ser mayor que 85% y la viscosidad a 65°C (referida a 8,6%) debería ser menor que 1,6 mPa·s.

Por eso, una malta muy bien y homogéneamente modificada es una precondición para una mezcla a altas temperaturas.

Si se mezcla una malta tan bien modificada a temperaturas de 60 a 64°C, se obtiene una serie de ventajas, en especial cuando se lo realiza en combinación con una acidificación de la templa (valor pH ~ 5,2):

- el ahorro de tiempo es importante; los procesos de infusión con temperaturas de mezcla de 60 a 64°C duran menos de 120 min; en caso extremo se pueden lograr tiempos de sólo 80 a 90 min. Pero también son posibles procesos de maceración con tiempos optimizados (mezcla y reposo) con una o dos templas hervidas,
- por este motivo, se obtienen también ahorros de energía,
- la degradación de proteínas se desarrolla de forma reducida; se forman más productos de degradación de proteínas de alto peso molecular,
- esto a su vez produce una mejor espuma,
- debido a la degradación reducida de proteínas, el contenido de FAN en el mosto es menor,
- con esto, hay menos aminoácidos a disposición para las reacciones Maillard,
- se mejora la estabilidad de sabor, también por inactivación de las lipooxigenasas a temperaturas elevadas.

En Alemania se mezcla aproximadamente un 35% de las cervezas de fermentación baja a temperaturas mayores que 60°C y en el 70% de todas los procesos de mezcla el primer reposo ocurre a temperaturas mayores que 60°C [251].

3.2.3.3 Mezclado de agua y molienda de malta

La mezcla debe realizarse de manera tal que el agua y la molienda sean mezclados íntimamente entre sí y sin que se formen grumos. En los procesos tradicionales se pone primero el agua en la cuba y luego se agrega la molienda en forma de chorro delgado, mientras se mueve el agitador, para obtener una mezcla uniforme. Pero en este proceso se producen pérdidas por polvo. Más desventajoso aún para la calidad es, sin embargo, que junto con la malta entrante también ingresa oxígeno a la templa, con lo cual aumenta de forma notable el contenido de oxígeno de la templa.

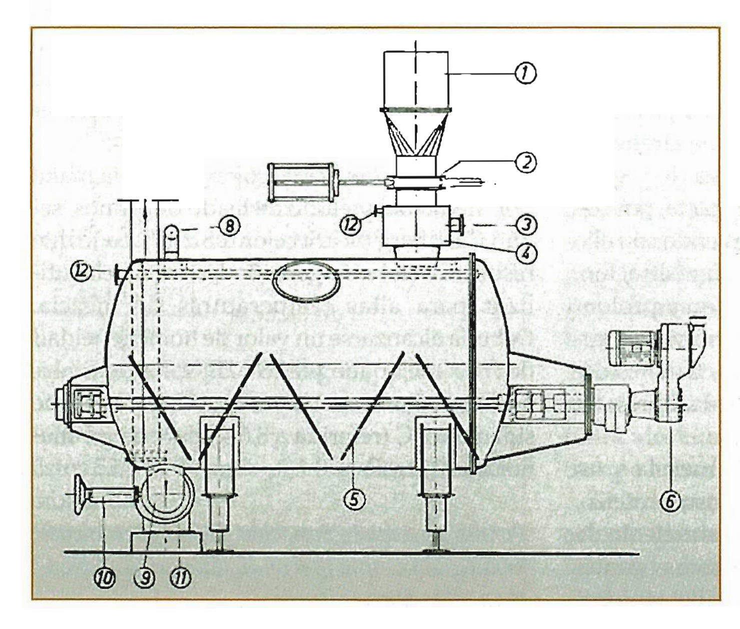


Figura 3.34a
Tanque de premezcla de discos inclinados (BTE Essen)
(1) entrada de molienda
(2) obturador plano
(3) suministro de agua
(4) aparato mezclador
(5) agitador de discos inclinados
(6) motor de accionamiento de regulación continua
(8) venteo
(9) salida de templa
(10) válvula de salida
(11) bomba de mezcla
(12) conexión para proceso CIP

En el mezclado de agua y molienda se forman siempre grumos por aglomeración de pequeñas partículas, que posteriormente se disuelven de forma muy dificultosa, llegando a producir heces de reacción no normal al yodo.

Para lograr un mezclado intensivo del agua con la molienda, se insertaban premezcladores en el tubo de mezcla (Figura 3.34). Éstos son dispositivos en los cuales pasa agua a temperatura de proceso de mezcla, junto con la molienda, siendo así mezclada libre de grumos. En relación con esto, adquieren gran importancia la mezcla libre de grumos y el trabajo del agitador. Para evitar cualquier formación de grumos se ofrecen también, desde tiempos recientes, aparatos de mezcla sobre la base de toberas de dos componentes.

Dado que también el agua de mezcla contiene oxígeno disuelto, debería ser desgasificada.

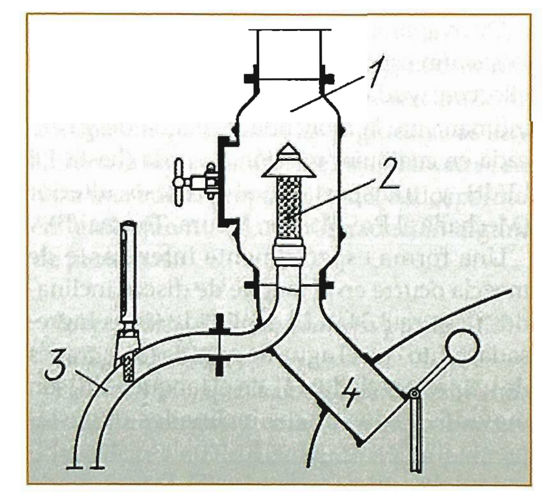


Figura 3.34
Premezclador
(1) entrada de la malta, (2) tubo pulverizador, (3) entrada de agua, (4) mezcla agua/malta (templa)

Figura 3.34 b Molienda y preparación de templa encapsuladas y libres de aire
(1) compartimento de acondicionamiento, (2) rodillo alimentador, (3) rodillos estrujadores, (4) control de nivel

Otros aparatos de mezcla trabajan con tornillos sinfín específicamente conformados para ello, con ayuda de los cuales se puede mezclar íntimamente la molienda y el agua desgasificada en cualquier relación deseada (hasta 1,8 hl/dt) y transportarla al proceso ulterior (Mechanical Pre-Masher, Meura, Tournai/B).

Una forma especialmente interesante de mezcla ocurre en el tanque de discos inclinados (Figura 3.34a). La molienda (1) es ingresada, junto con el agua de mezcla (3), a través de un premezclador (4), en el tanque. Allí, son movidos varios discos inclinados opuestamente uno contra otro, los cuales están ubicados sobre un eje excéntrico (5). De este modo la templa es agitada fuertemente, pero también mezclada cuidadosa e intensivamente. A través de la salida de templa (9), se transporta la templa a la paila de maceración con la bomba (11), posibilitándose con ello un pasaje continuo a través del premezclador de discos inclinados.

Hemos visto que los procesos de oxidación comienzan durante la mezcla, con el mezclado intensivo de molienda, agua y aire (aire también proveniente de la malta y del agua). Por ello, se relativizan las medidas posteriores para evitar procesos de oxidación. Si se desea restringir desde el comienzo estos procesos de oxidación, existe una posibilidad para ello, encapsulando todo el tramo de molienda y mezcla, desde el silo de malta hasta la cuba de maceración y llenándolo con gas inerte (CO_2 o N_2) (Figura 3.34b).

Consecuentemente, debería aprovecharse entonces, al mismo tiempo, la posibilidad de realizar una acidificación biológica durante el proceso de mezcla, para restringir una posible actividad de las lipooxigenasas, a través del valor pH más bajo.

Pero debe recordarse aquí también que esto no siempre era tan sencillo, como lo es para nosotros hoy en día. Un símbolo en nuestra insignia cervecera nos recuerda todavía cuán ardua era en aquel entonces la maceración: dado que aún no existían los agitadores, la templa debía ser movida todavía manualmente con la batidera de mezcla o con el remo mezclador (Figura 3.35).

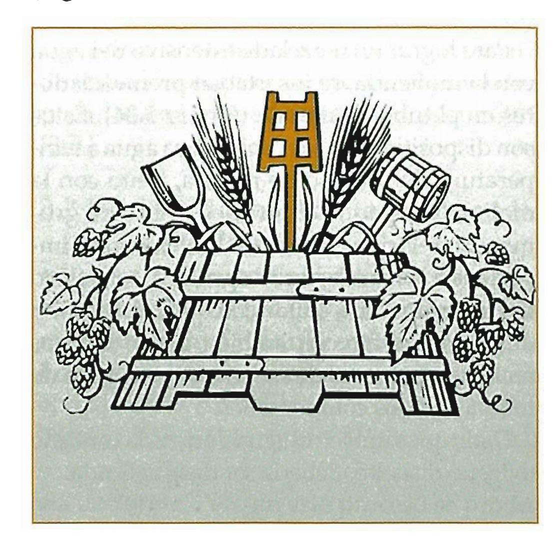


Figura 3.35
Remo mezclador en la insignia cervecera

3.2.4 Proceso de maceración

La maceración consiste en incrementar las temperaturas de la templa hasta alcanzar las temperaturas óptimas de las enzimas que se desea dejar actuar y en el mantenimiento de un reposo a esa temperatura.

Los reposos resultan de los valores óptimos de temperatura de las enzimas:

- 45 a 50 °C — reposo proteico y de β-glucano
- 62 a 65 °C — reposo de producción de maltosa
- 70 a 75 °C — reposo de sacarificación
- 75 a 78 °C — temperatura de finalización de la maceración

Según la forma en que se incrementa la temperatura, se distinguen dos grupos de procesos de maceración:

- *procesos de infusión,* y
- *procesos de decocción.*

En los procesos de infusión, toda la templa es calentada, respetando los reposos, hasta la temperatura de finalización de la maceración, sin cocer separadamente parte de la templa.

En los procesos de decocción, se incrementa la temperatura separando una parte de la templa (templa hervida) y se cuece esta última. Por bombeo de retorno al resto de la templa, aumenta la temperatura de la templa en su totalidad hasta la temperatura de reposo próxima superior. Este proceso puede ser repetido varias veces (proceso de una, dos y tres maceraciones).

3.2.4.1 Parámetros para realizar la maceración

En la selección del proceso de maceración debe tomarse en consideración una serie de parámetros, a los efectos de producir una templa y un mosto, que se correspondan en la composición con el tipo de cerveza deseado.

Ello incluye, por ejemplo la porción de azúcares fermentables, la cual establece la atenuación límite, o la existencia suficientemente alta de substancias albuminoideas para el cuerpo y para la retención de espuma de la cerveza. Dado que el proceso de maceración ofrece una buena oportunidad de influir sobre el carácter de la cerveza, se detallan aquí aspectos importantes [7]:

Calidad de la malta

Las maltas muestran frecuentemente una alta modificación proteica. Si se mantiene con esas maltas un reposo prolongado a 50°C, existe el riesgo de que sean degradadas demasiadas proteínas de alto peso molecular. En ese caso, la cerveza tiene un sabor vacío e insípido y la retención de la espuma es pobre. Si la malta está citolíticamente bien modificada, se puede limitar el reposo en 45 a 50°C durante la maceración y seleccionar temperaturas de mezcla de 58 a 62°C.

Si, ante una modificación escasa de pared celular, se desea continuar favoreciendo la degradación de pared celular, sin que continúe la degradación de proteínas, se mezcla a 35°C, porque ahí ya trabajan las β-glucanasas sensibles a la temperatura. De esta manera se realiza una buena preparación del endospermo, en tanto que no ocurre degradación alguna de proteínas.

Incremento de temperatura por adición de agua caliente

Hemos visto, que la relación entre molienda de malta (carga) y colada principal se encuentra en 4 a 5 hl/100 kg de malta para las cervezas claras. Pero si se mezcla espesamente a 35°C (o 50°C) (malta:agua = 1:2,5) y posteriormente, por adición de agua caliente a más de 95°C, se aumenta la temperatura hasta alcanzar el próximo reposo de 50°C (o 63°C), se atenúan los procesos de degradación y se restringe especialmente la degradación de proteínas. Luego de la adición de agua caliente se obtiene nuevamente la relación normal entre carga y colada principal.

Por medio de esta forma de aumento acelerado de temperatura se obtienen ahorros de energía, dado que en la fábrica de cerveza normalmente hay un exceso de agua caliente.

Si se debe reducir la atenuación límite -tal como lo es en las cervezas ligeras o las libres de alcohol-, se utiliza también una variante especial, el proceso de maceración por saltos (ver Sección 3.2.4.3.4).

Contacto óptimo entre las enzimas y los componentes de la malta

De especial importancia para un buen trabajo de maceración es el contacto óptimo entre los componentes de la malta y las enzimas disueltas en el agua, a los efectos de posibilitar a éstas la función degradadora. Hemos visto, que ya durante el proceso de mezcla se hace un gran esfuerzo para lograr un mezclado intensivo de la mezcla formada por molienda de malta y agua, para posibilitar un

inicio óptimo de las reacciones enzimáticas.

Durante la maceración, el trabajo del agitador cumple un papel importante: hoy en día ya no se agita tan intensivamente, sino que se aumenta la velocidad de rotación del agitador paralelamente con el contenido del recipiente, de forma escalonada o continua, a través de un motor regulado por frecuencia.

Por supuesto que para la extracción de parte de la templa espesa se debe desacoplar el agitador durante 5 a 10 min, para que puedan precipitar los componentes no disueltos de la malta. Luego del bombeo de retorno, el agitador es operado todavía durante 30 min a velocidad media.

Una agitación intensiva siempre causa una mezcla con aire y esfuerzos adicionales de corte. Por esfuerzos de corte (también llamados de cizallamiento) se entiende lo siguiente:

En la templa, en el mosto y en la cerveza están contenidas muchas substancias formadas por compuestos de alto peso molecular o por una estructura complicada. Estos "pequeños cuerpos" son deformables por esfuerzos de corte y, debido a esto, pueden modificar o perder totalmente su estructura [8].

Por ejemplo, se manifiestan grandes diferencias de presión cuando el alabe de la bomba o la paleta del agitador giran a una velocidad mucho mayor que aquella a la que puede seguirlos el líquido (Figura 3.36). En tanto que el cuerpo (a) es movido uniformemente en la templa en rotación, manteniendo así su forma, las fuerzas deformantes en el cuerpo (b) son totalmente diferentes, en particular en las capas límite turbulentas (Figura 3.36a) situadas en: ruedas de aletas, tuberías con acodamientos bruscos, la superficie rugosa interior de la tubería por la cual fluye el líquido, resquicios angostos de las bombas de desplazamiento positivo, etc. Las fuerzas manifestadas se llaman fuerzas de corte. Tales fuerzas

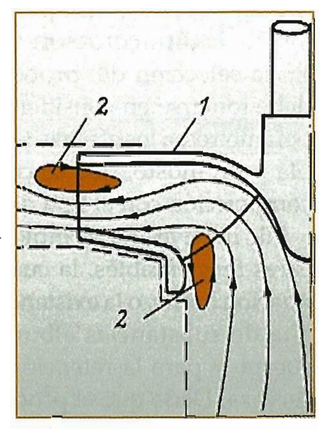


Figura 3.36a
Formación de esfuerzos de corte
(1) rueda de aletas,
(2) zonas turbulentas

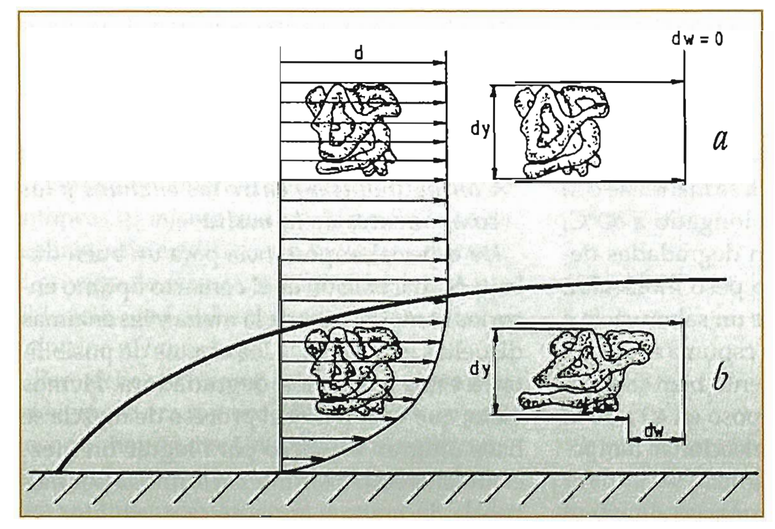


Figura 3.36
Deformación de pequeños cuerpos en la capa límite
(a) forma en reposo o movimiento lento
(b) deformación por esfuerzos de corte
(según Hilge-Berdelle)

de corte aparecen en todos los lugares en los cuales, como resultado de movimientos rápidos, ocurren fuertes diferencias de velocidad, como por ejemplo

- en bombas de todo tipo (ver Sección 10.5.1),
- en centrífugas, o
- en tuberías y recipientes, en los cuales ocurren turbulencias.

Un aumento de la viscosidad, así como un elevado contenido de geles de β-glucano está relacionado, sin embargo, con una desmejora en la filtrabilidad de la cerveza. Es por ello que es de mucho interés evitar los esfuerzos de corte, de ser posible (ver Sección 3.2.1.4).

Sin embargo, la formación de geles depende también de la formación de alcohol. Ante la presencia de alcohol, el gel de β-glucano se forma recién más tarde.

Se puede ayudar a evitar el corte por medio de un trabajo selectivo de agitación sin formación de remolinos. Por otro lado, una utilización demasiado breve del agitador puede conducir a la desintegración de la mezcla con importantes diferencias de temperatura, lo cual va en menoscabo de la extracción de los componentes de la malta. Ello significa que el agitador debe ser utilizado de forma muy selectiva.

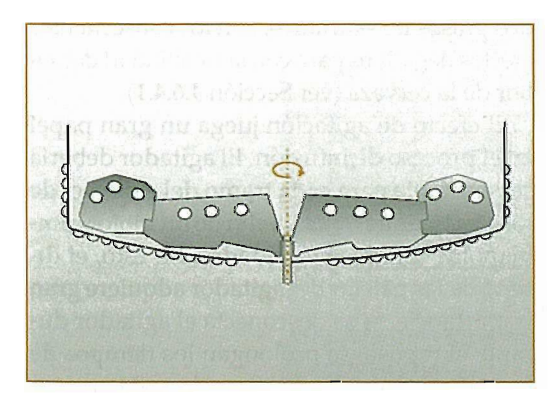


Figura 3.37
Paleta de agitador para el tratamiento cuidadoso de la templa

Para mantener la carga debida a las fuerzas de corte tan reducida como sea posible, es necesario utilizar grandes paletas de agitación (Figura 3.37) con una velocidad de rotación lo más reducida posible y velocidades periféricas menores que 1 m/s.

Pero la templa no siempre tiene la misma viscosidad y opone, por ello, una resistencia variable al agitador.

A bajas temperaturas (30 a 35°C), la viscosidad es primeramente alta, a temperaturas de 50 a 52°C es considerablemente menor y aumenta fuertemente a temperaturas mayores que 60°C, debido al engrudamiento que se inicia. En las templas de arroz, la viscosidad au-

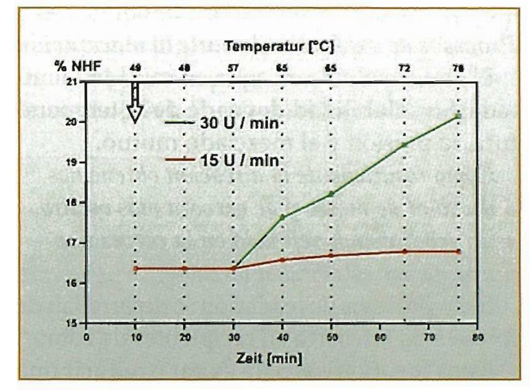


Figura 3.37a
Intensificación de la formación de esfuerzos de corte por agitación más rápida a temperaturas más altas

menta recién más tarde, debido a la temperatura de engrudamiento más alta, alcanzando un máximo a 80°C o a temperatura más alta.

Los esfuerzos de corte manifestados durante la agitación pueden ser determinados por modificación de las "substancias finas no hidrolizables" (NHF) (según Huppmann). Se muestra en esto que la formación de NHF y, con ello, los esfuerzos de corte se intensifican notablemente por encima de aproximadamente 57°C, y tanto más, cuanto más rápido de agita (Figura 3.37a). Es por ello, que se debe

3

tratar, sobre todo a altas temperaturas de maceración, de evitar la formación de esfuerzos de corte, por medio de agitación cuidadosa.

Particularmente se debe tener en cuenta que a temperaturas por encima de 57 a 58°C la β-glucanosolubilasa insensible a la temperatura libera progresivamente β-glucano de alto peso molecular, el cual ya no puede ser degradado. Por medio de esfuerzos de corte, estas moléculas pueden ser extendidas y pasadas así a la forma de gel. Es por ello que por encima de esta temperatura (57 a 58°C) se debe agitar más lento, para evitar esfuerzos de corte. Para esto, el agitador debe disponer de un accionamiento regulado por frecuencia.

Procesos de oxidación durante la maceración

El aire es soluble en agua en cantidad limitada. Su solubilidad depende de la temperatura, la presión y el mezclado mutuo.

Como resultado de la aireación obtenemos

- *un color de mosto y de cerveza más oscuro,*
- *un sabor menos refinado en la cerveza, y*
- *una menor estabilidad de sabor.*

Estos procesos de oxidación se desarrollan de forma más intensiva en recipientes de cobre.

Estos son motivos para evitar o reducir una aireación. ¿Pero cómo y por dónde entra el aire a la templa? Por ejemplo:

- por introducción de la templa por arriba,
- por elevadas velocidades de agitador,
- por succión de mangas durante la transferencia por bombeo.

La oxidación puede ser reducida ampliamente durante la maceración

- *utilizando agua desgasificada*
- *intercalando un tramo de mezcla o por mezclado con el agua de mezcla en el molino (ver Sección 3.1.5.2) e*
- *introduciendo la templa por abajo, por medio de bombeo ,*
- *regulando la velocidad del agitador (Figuras 3.37 y 3.37a), y*
- *evitando la formación de mangas durante la transferencia por bombeo.*

En las próximas secciones veremos también que, por parte de la industria de maquinaria pertinente, se realizan todos los esfuerzos tendientes a evitar o al menos a reducir la influencia deteriorante del oxígeno.

Como resultado de una forma de trabajo con bajo contenido de oxígeno

- *se mejora la degradación de β-glucanos*
- *se aumenta la atenuación límite,*
- *la filtración de mosto se desarrolla más rápidamente,*
- *el color del mosto y de la cerveza es más claro,*
- *el sabor de la cerveza es más fino,*
- *aumenta la estabilidad de sabor.*

Estos son motivos para minimizar la oxidación en la sala de cocción.

3.2.4.2 Procesos de infusión

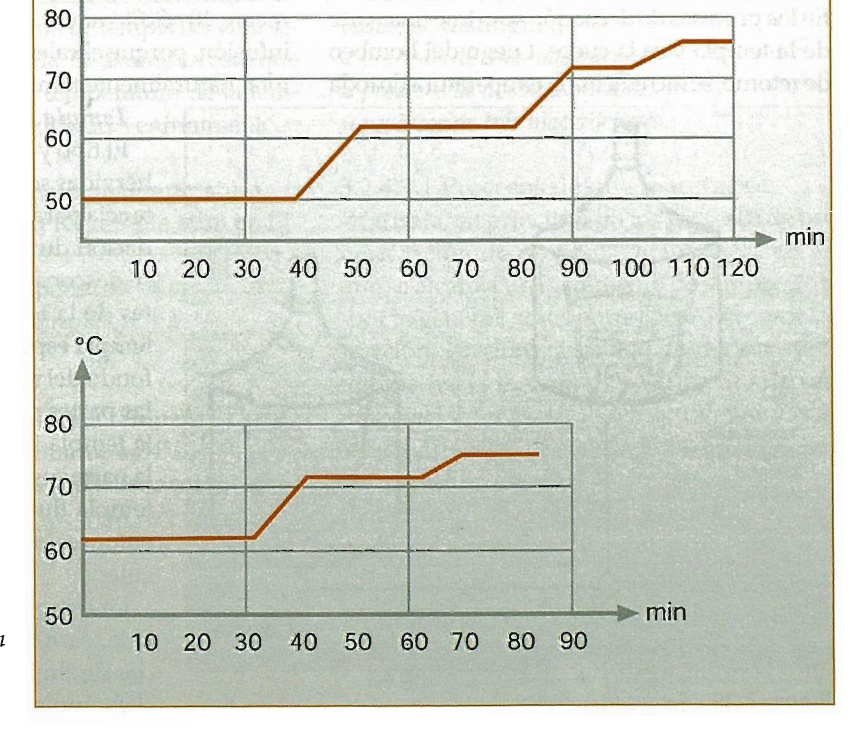
Los procesos de infusión son los procesos de maceración más sencillos, dado que toda la templa siempre se mantiene junta. El calentamiento de toda la templa es realizado manteniendo los reposos a las temperaturas determinadas por las propiedades enzimáticas.

Para los procesos de infusión se necesita sólo un recipiente, pero que debe ser calentable. Dado que no se transfiere templa alguna por bombeo, la absorción de aire es reducida. Esto es positivo, dado que el oxígeno conduce durante la maceración a una oxidación de los ácidos grasos no saturados, con los consecuentes efectos negativos para con la estabilidad del sabor de la cerveza (ver Sección 4.6.4.1).

El efecto de agitación juega un gran papel en el proceso de infusión. El agitador debería ser ajustable para cada tramo del proceso, de forma continua o por medio de un motor cambiapolos con dos velocidades. En esto, el diseño de las paletas del agitador adquiere gran importancia. Si se desconecta el agitador durante el reposo, se prolongan los tiempos de sacarificación y de clarificación y desmejora el rendimiento, debido a diferencias resultantes de temperatura, que empeoran la extracción y la actividad de las enzimas.

Si se procesa una malta muy bien modificada, alcanza con que se mantengan las temperaturas óptimas de las amilasas a medida que aumentan una tras otra durante aproximadamente 20 min, y con que se finalice la maceración después de la sacarificación (Figura 3.38). Esto significa, que con una malta muy bien modificada se puede mezclar a 62°C, sin temor de que el mosto pueda tener un contenido demasiado elevado de β-glucanos de alto peso molecular (con el consecuente riesgo de problemas de filtración) y no el contenido deseado de aminonitrógeno libre (FAN) del orden de 200 a 220 mg/l (ver Sección 1.1.4.2.2). Con la alta temperatura de mezcla, las peptidasas ya no trabajan y, por lo tanto, tampoco pueden formar ya aminoácidos. Por otro lado, por medio de las proteinasas más resistentes al calor, se constituyen formadores de espuma de alto peso molecular. La ventaja de una alta temperatura de mezcla y una duración de maceración, debida a esto, de menos de 1,5 horas, es aprovechada hoy en día exitosamente por una serie de fábricas de cerveza, siempre que dispongan de malta muy bien modificada.

Un factor limitante, para decidir si se prescinde del reposo a 50°C, es el grado de modificación de la malta (ver Sección 2.4.1.3.1). En las maltas escasa o pobremente modificadas, el β-glucano que ya se encuentra libre debe continuar siendo degradado por las ß-glucanasas. El problema reside en que el reposo para la β-amilasa (62 a 65°C) no puede ser salteado. Pero con ello, es inevitable que a esa temperatura todavía sea disuelto β-glucano por la β-glucanosolubilasa; y esto tanto más, cuanto más pobremente modificada esté la malta [196]. Para una malta normalmente



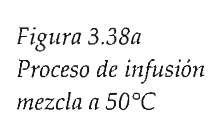


Figura 3.38a
Proceso de infusión mezcla a 50°C

Figura 3.38
Proceso de infusión mezcla a 62°C con malta muy bien modificada

modificada (viscosidad 1,52 mPa·s, contenido de β-glucano150 mg/l), un proceso de maceración de a lo sumo 2 horas de duración con una temperatura de mezcla de 50°C (Figura 3.38a) continúa siendo el camino seguro, seguido por muchas fábricas de cerveza.

Las ventajas principales de los procesos de infusión son:

- permiten ser automatizados de forma sencilla,
- tienen una menor demanda de energía que los procesos de decocción,
- son más fáciles de monitorear.

Desventajosos son la reacción al yodo a veces algo peor en los procesos de infusión y el rendimiento de la sala de cocción eventualmente algo más reducido, en el caso de malta de mala calidad.

Las grandes ventajas de los procesos de infusión conducen a que éstos se impongan hoy en día cada vez más.

3.2.4.3 Procesos de decocción

En los procesos de decocción se extrae una parte de la templa y se la cuece. Luego del bombeo de retorno, se incrementa la temperatura de toda la templa. Según la cantidad de templas hervidas se distingue entre procesos de una, dos y tres templas, con la tendencia general a procesos con menor cantidad de templas hervidas.

La extracción y cocción de templas hervidas tienen los siguientes efectos:

- una menor degradación de proteínas en la templa parcial, debido al calentamiento más rápido,
- un engrudamiento y una licuación más extensivos del almidón,
- un enjuague más intensivo de los componentes de las cáscaras,
- una mayor formación de melanoidinas,
- una mayor eliminación de sulfuro de dimetilo (DMS) libre,
- una reducción de la cantidad de enzimas en la templa total,
- eventualmente, un rendimiento algo mayor de la sala de cocción.

Los procesos de decocción tienen, debido a la cocción de las templas parciales, un mayor consumo de energía, el cual es aproximadamente 10 - 20% mayor que en los procesos de infusión, porque el calentamiento de la templa total naturalmente también consume energía.

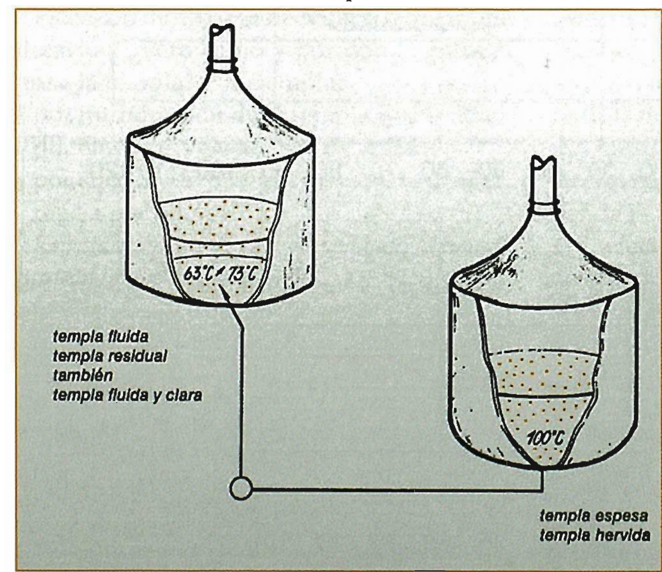


Figura 3.39: Segunda maceración

Templa hervida

El tipo y la cantidad de templas hervidas son de particular importancia para los procesos de degradación durante la maceración: Si se desconecta el agitador, las partes de la templa no disueltas -la templa espesa- se depositan en el fondo del recipiente, en tanto que las partes disueltas de la templa - la templa fluida- se acumulan en la parte superior del recipiente. La templa fluida puede ser extraída entonces, a través de un tubo articulado.

La templa espesa debe ser cocida, para desintegrar las partículas de almidón que aún contiene. La templa fluida no debe ser co-

cida, porque se encuentra enriquecida con las enzimas ya disueltas.

Como templa hervida se utiliza en lo posible la templa espesa.

En la segunda maceración (que consiste en juntar la templa hervida con el resto de la templa), se transfiere por bombeo la templa hervida al resto de la templa, bajo agitación permanente, a los efectos de cuidar bien las enzimas. Nunca se realiza este proceso en sentido inverso (Figura 3.39).

Para evitar una aireación innecesaria y perjudicial de la templa, ya no se introduce hoy en día la templa hervida por arriba durante el bombeo de retorno, sino que, en lo posible, se la introduce por medio de bombeo, por abajo.

La cantidad de templa hervida, que se debe extraer para la cocción, para alcanzar la temperatura deseada al retorno, es conocida por el cervecero a cargo de la maceración por experiencia y es aproximadamente un tercio a un cuarto de la cantidad de templa.

En el cambio del proceso de maceración, se puede calcular la porción de templa hervida según la siguiente fórmula. Se asume en esto que es mejor considerar la temperatura de la templa hervida con 90°C, debido a enfriamiento.

$$\text{templa hervida en hl} = \frac{\text{incremento de temperatura deseado en K} \cdot \text{templa total en hl}}{\text{(95°C-temperatura del resto de la templa en °C)}}$$

Ejemplo:

130 hl de templa con una temperatura de 50°C deben ser calentados a 64°C.

¿Qué cantidad de la templa debe ser cocida?

$$Vth = \frac{(64°C-50°C) \cdot 130\ hl}{(95°C-50°C)}$$

$$Vth = \frac{14\ K \cdot 130\ hl}{45\ K} = 40{,}4\ hl$$

El volumen de la templa hervida es 40,4 hl.

Por la cocción son destruidas todas las enzimas. Por ello, para la degradación del almidón sin residuos se requieren amilasas, que provienen de la parte no cocida de la templa. Es por eso que no es posible cocer toda la templa. La duración de la cocción también juega un papel, dado que con una cocción más prolongada se disuelve más almidón. Pero dado que la cocción está asociada con un consumo considerable de energía y, por ello, con costos elevados, se restringe la duración de la cocción a lo estrictamente necesario. En lo posible, se prescinde totalmente de una evaporación durante la cocción, para ahorrar energía. Tiempos usuales de cocción son

- *maceración de cervezas claras* *10 a 15 min*
- *maceración de cervezas oscuras* *20 a 30 min*

Dado que muchas templas hervidas requieren más energía y más tiempo, se procura utilizar la menor cantidad posible de templas hervidas (1 ó 2) y trabajar así de forma menos costosa y más rápida.

De acuerdo con la cantidad de templas hervidas, se distinguen

- *procesos de una maceración,*
- *procesos de dos maceraciones y*
- *procesos de tres maceraciones.*

3.2.4.3.1 Procesos de una maceración

Se trata, en principio, en los procesos de una maceración de procesos de infusión, en los que se alcanza un incremento de temperatura -por lo general, aquel entre 65 y 75°C -, por extracción, cocción y bombeo de retorno de la templa hervida. Ejemplo de proceso de una maceración: mezcla a 35°C y calentamiento lento hasta 50°C (o mezcla directamente a esa temperatura; Figura 3.40); reposo a 50°C y calentamiento de la templa total hasta 64°C, allí nuevamente un reposo más prolongado (de formación de maltosa). Separación de la templa hervida y cocción de 15 a 30 min. Segunda maceración a 75°C y sacarificación.

La templa hervida se puede ubicar también entre los reposos de 35 y 50°C o entre 50 y

64°C. Pero se debe tener en cuenta que las porciones de templa hervida serán menores en esos casos y que, debido a ello, su efecto resultará menor.

En los procesos normales de maceración, los azúcares formados están compuestos en aproximadamente un 90% por maltosa y maltotriosa y sólo en aproximadamente 10% por glucosa (y algo de fructosa). Por medio de una variación especial de un proceso usual de maceración [251] –por mezcla con una segunda templa parcial fría y reposo de maltasa a 45°C (Figura 3.40a)– se puede aumentar el contenido de glucosa al 35 a 40%, a través de la actividad de las maltasas. De este modo, se modifica notablemente la composición de los productos secundarios de fermentación: se incrementan el acetato etílico y el acetato de isoamilo (aroma a bananas) en un 70 %, respectivamente 120%, en tanto que el aldehído acético es reducido en aproximadamente un 40%. De esta manera, se puede afectar de forma considerable sobre todo el aroma de la cerveza tipo Hefeweizen (cerveza de trigo sin filtrar). Cuanto más tiempo se mantiene el reposo a 45°C, tanto más aumenta el contenido de glucosa y con ello la composición de esos productos secundarios de fermentación. Sin embargo, el óptimo se alcanza con una porción de glucosa de 40%.

Una variación especial de los procesos de una maceración es el proceso de maceración en caldera: aquí se mezcla a 35°C y se extrae una fracción de templa fluida y clara (lauter mash) de aproximadamente 20%. Observando los reposos, todo el resto de la templa es llevado a ebullición y cocido durante 30 a 40 min. Luego se enfría a 65°C y se forma maltosa con ayuda de la templa fluida y clara adicionada. Posteriormente se calienta a la temperatura de sacarificación. Después de la sacarificación, se lleva a la temperatura de finalización de maceración. Se obtiene con esto más extracto, pero en la mayoría de los países los costos adicionales de energía, necesarios para ello, son mayores que la ganancia en extracto.

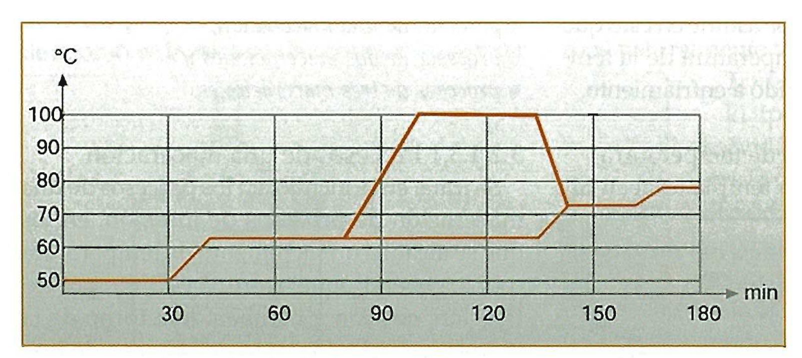


Figura 3.40
Proceso de una maceración

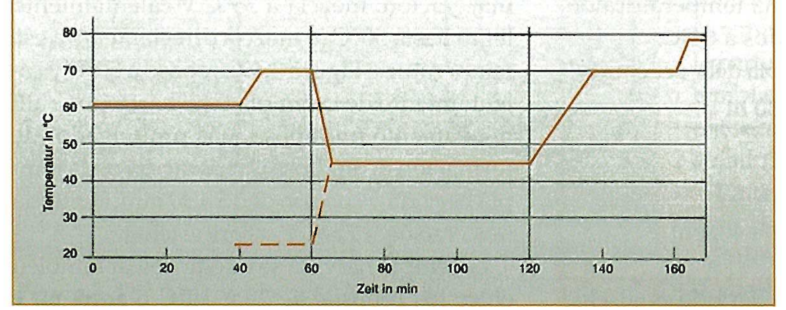


Figura 3.40a
Proceso de maceración para influir sobre la composición del azúcar de mosto

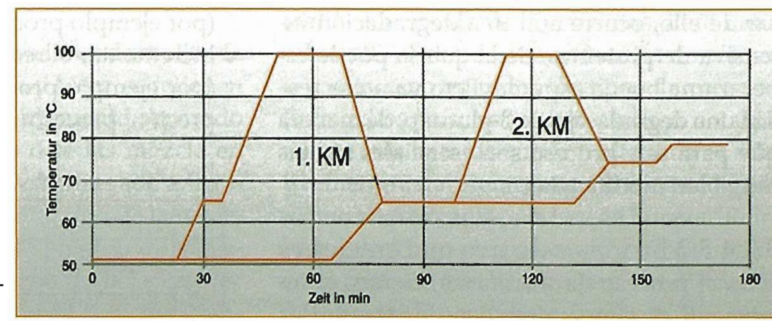


Figura 3.40b
Proceso de dos maceraciones

3.2.4.3.2 Procesos de dos maceraciones

El proceso clásico de dos maceraciones comienza con la mezcla a 50°C (Figura 3.40b). Luego de un breve reposo, se extrae la templa espesa y se la lleva a ebullición y, observando en ello los reposos, se la cuece durante 15 a 20 min. Por adición de la templa hervida, se aumenta la temperatura de la templa total a 64°C, siguiendo luego un reposo de formación de maltosa. Luego de un breve lapso se extrae la segunda templa y se la lleva a ebullición. Usualmente se cuece la segunda templa hervida durante un tiempo algo más breve y se calienta con ello la templa total a aproximadamente 75°C, finalizándose la maceración. El proceso de dos maceraciones tiene una duración aproximada de tres horas a tres horas y media.

Si se observa el diagrama de maceración de este proceso, llama la atención, que la temperatura de 50°C está sobremarcada, indicando con ello una degradación muy amplia de proteínas y β-glucanos. Con esto son afectados negativamente el cuerpo y la formación de la espuma y se obtiene una cerveza insípida, cuyo sabor solo puede ser restaurado de forma parcial, adicionando malta oscura.

Para cambiar esto, se puede mezclar a 50°C y calentar a 62°C y/o agregar agua caliente, a los efectos de poder controlar de forma precisa el reposo proteico.

Otra posibilidad es la mezcla a 35°C y la extracción de la primera templa hervida. Naturalmente, debe asegurarse también aquí una degradación controlada de proteínas, lo cual se realiza hoy en día sobre todo a través del control del contenido de FAN.

Un tipo especial de proceso de dos maceraciones es el proceso de maceración con tiempos optimizados (Figura 3.41). La temperatura de mezcla es de 62°C y el proceso dura solamente dos horas -de ahí proviene el nombre de este proceso, que también puede ser realizado como proceso de una maceración. El proceso requiere maltas muy bien y uniformemente modificadas.

La temperatura de mezcla de 62°C se encuentra por encima de las temperaturas óptimas de degradación de proteínas. Pero a pe-

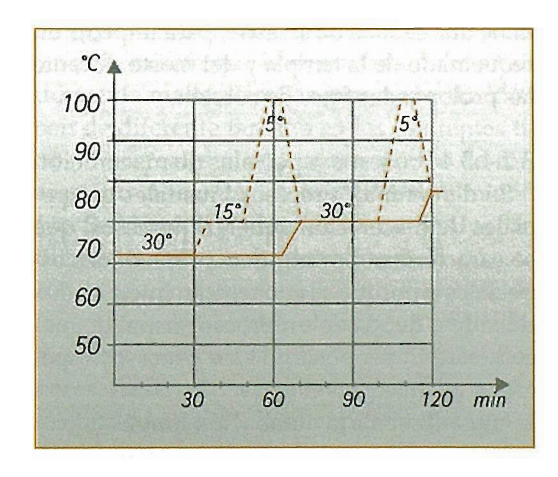


Figura 3.41
Proceso de maceración con tiempos optimizados

sar de ello, ocurre aun una degradación intensiva de proteínas, de la que se puede esperar una buena espuma. Pero ya no se realiza una degradación de β-glucano, de manera que para este proceso son esenciales maltas muy bien modificadas.

3.2.4.3.3 Procesos de tres maceraciones

En el proceso de tres maceraciones, el incremento de temperatura tiene lugar entre las temperaturas de maceración principal

- 35°C temperatura de mezcla
- 50°C reposo proteico / degradación de gomas
- 64°C reposo de formación de maltosa y
- 75°C reposo de sacarificación

a través de la extracción de templas hervidas, cocción y segundas maceraciones. Dado que en este proceso la templa restante permanece durante mucho tiempo en las temperaturas de maceración principal y que la templa espesa es tratada de forma muy intensiva, los procesos de tres maceraciones producen cervezas con mucho aroma a malta. Dado que el proceso dura 4 a 5 h y requiere mucha energía, ya es poco usado y, en caso positivo, se lo aplica para cervezas oscuras especiales. La cerveza Pilsner Urquell todavía se fabrica con el proceso de tres maceraciones. El agitador de paila tiene una cadena de arrastre, para impedir un requemado de la templa y del mosto durante las prolongadas fases de cocción.

3.2.4.3.4 Procesos especiales de maceración

Se denominan procesos inusuales o especiales de maceración aquellos procesos, que se caracterizan por algunas propiedades especiales o porque se encuentran intercalados delante o detrás de un proceso usual de maceración. El propósito de los procesos especiales de maceración es

- mantener baja la atenuación límite (por ejemplo proceso de maceración por saltos),
- mejorar la calidad de la cerveza (por ejemplo proceso Kubessa) o
- incrementar el rendimiento (por ejemplo proceso de maceración bajo presión, proceso de digestión).

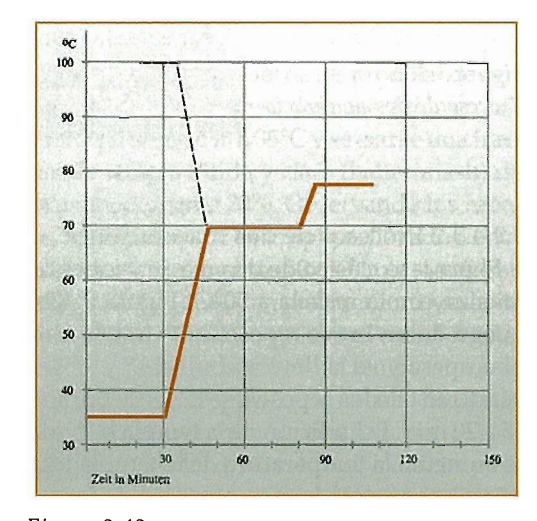


Figura 3.42
Proceso de maceración por saltos (proceso de maceración por adición de agua caliente)

Proceso de maceración por saltos (Figura 3.42)

Se mezcla espesamente a aproximadamente 35°C y se agrega agua hirviendo hasta alcanzar aproximadamente 72°C. De este modo, se "saltean" las temperaturas de la β-amilasa. La α-amilasa causa una sacarificación, pero el elevado contenido de dextrinas produce una muy baja atenuación límite (aproximadamente 40%), tal como se la desea en cervezas nutritivas. El proceso de maceración por saltos se realiza únicamente utilizando malta bien modificada.

Dado que se agrega agua hirviendo, este proceso se denomina también proceso de maceración por adición de agua caliente. Naturalmente, la adición de agua caliente para incrementar la temperatura puede ser realizada también a cualquier otra temperatura.

Proceso Kubessa

En la maceración con porciones de molienda separadas, según Kubessa y Merz, se retienen las cáscaras en un compartimento separado de la tolva de molienda o se las mezcla en agua caliente a 64°C. Las cáscaras son adicionadas recién hacia la finalización de la maceración. El objetivo de este proceso de maceración es evitar el enjuague de las cáscaras. Debido a la cocción, entran en solución grandes partes de los taninos y de los compuestos amargos correspondientes a las cáscaras, desmejorando con esto la calidad del extracto. El proceso es poco usado.

Proceso de maceración bajo presión

En la maceración normal, el almidón nunca entra totalmente en solución. Las heces de la cebada siempre contienen todavía almidón. Si se cuece la templa bajo presión, con 2 a 3 bar (m), se incrementa el rendimiento en 2 a 3%. Esto sería indudablemente una mejora substancial, pero la calidad del extracto disuelto adicionalmente no es buena y se prefiere, por lo general, prescindir de este rendimiento extra, en favor de la calidad. El proceso de maceración bajo presión presupone además una paila de maceración bajo presión que pueda ser cerrada, la cual, por lo general, no está disponible.

Proceso de digestión

En el proceso de digestión (proceso de premezcla) se mezcla en frío la noche anterior. En el tiempo hasta el inicio de la maceración ya ocurren procesos de disolución y también las enzimas comienzan a trabajar, aunque con reducida intensidad. Es posible aumentar un poco el rendimiento con la digestión, pero este proceso funciona únicamente si se realiza un solo cocimiento por día. Este proceso ya casi no se utiliza.

3.2.4.3.5 Procesos de maceración utilizando adjuntos

Hemos visto que el azúcar requerido para la fermentación es obtenido del almidón de la malta, con ayuda de las enzimas. Pero naturalmente, el almidón se encuentra no sólo en la malta, sino en todos los tipos de cereales. En muchos países estos cereales son notablemente más baratos que la malta, que es relativamente cara. Siempre que no se esté ligado -como en Alemania- a la Ley de Pureza "Reinheitsgebot", pueden ser coutilizados también estos cereales mas baratos para la fabricación del mosto. En contraste con la malta, estos productos se denominan adjuntos.

Las enzimas de la malta deben entonces realizar también la degradación de estas substancias, durante la maceración. Si no se utiliza más de 15 a 20% de cereales sin maltear, el potencial enzimático de la malta es suficiente para la degradación. Pero con porciones mayores de adjuntos se deben agregar preparados de enzimas para apoyar los procesos de degradación, porque si no la degradación se demoraría demasiado o hasta llegaría a detenerse.

Como adjuntos se utilizan especialmente arroz y maíz, pero también cebada, trigo y sorgo. Este último sobre todo en los países africanos. Si bien el azúcar no es un cereal sin maltear, cumple con relación a esto, sin embargo, también un papel como aportante de extracto.

La degradación química del almidón cuando se coutilizan adjuntos es en todos los casos la misma que la degradación del almidón en la malta. Pero los granos de almidón son de diferente tamaño en los diferentes tipos de cereales y están acumulados de formas muy diferentes en las células de almidón (ver Sección 1.5) y además están rodeados con diferentes substancias envoltorias. Todo esto conduce a un comportamiento diferente de los granos de almidón durante el engrudamiento y consecuentemente a diferenciaciones necesarias en el desarrollo del proceso, según los tipos de cereal. Pero al mismo tiempo se disuelven o son degradadas por las enzimas de la malta también otras substancias en estos granos de cereales de manera, que se mo-

3

difica la composición de la templa y del mosto y consecuentemente también la de la cerveza. Esto tiene efectos sobre la fermentación, la filtración, el sabor de la cerveza y otros parámetros. Así, las cervezas fabricadas con arroz tienen un sabor ligero, sin cuerpo y seco. Las cervezas fabricadas utilizando maíz tienden a un sabor más suave.

En especial, debe tenerse en cuenta en el coprocesamiento de adjuntos que las substancias albuminoideas se encuentran acumuladas aún de forma rígida en los adjuntos y que, como consecuencia del proceso de malteado faltante, sólo son degradadas de forma reducida durante la maceración. Es por ello que las templas de adjuntos tienen menos compuestos de proteínas de bajo peso molecular (FAN) que las templas de malta. Por eso hay que prestar mucha atención a que la levadura disponga de suficiente FAN, por medio de una degradación suficiente de proteínas. Aun así, las cervezas elaboradas con adjuntos contienen cada vez menos nitrógeno y polifenoles, tanto menos cuanto mayor es la porción de adjuntos.

El coprocesamiento de adjuntos siempre conlleva una modificación en el sabor de la cerveza, la cual aumenta con el incremento de la porción de adjuntos. Esta modificación de sabor, que no necesariamente tiene que ser interpretada como una desmejora, debe ser especialmente tenida en cuenta de antemano en el coprocesamiento de adjuntos, en especial si uno trata de imponerse contra competidores en el mercado, que no utilizan adjuntos y que fabrican su cerveza solamente a partir de malta de cebada.

3.2.4.3.5.1 Maceración con arroz

El arroz es el adjunto más dificultoso de procesar. Los granos de almidón del arroz son muy pequeños y muy firmes (ver Figura 1.30). En agua caliente, los granos se hinchan muy lentamente. Para engrudarlos, se debe incrementar la temperatura a 75 a 80°C o más. Pero a esa temperatura, las amilasas ya están destruidas al poco tiempo, de manera que se deben seguir otros caminos en el tratamiento del arroz.

Además, el almidón del arroz se hincha considerablemente durante el engrudamiento - más que en otros tipos de cereal-, por lo cual el engrudo se puede quemar fácilmente en contacto con superficies calientes. Si se mezcla espesamente, el hinchamiento puede ser tan fuerte que al agitador le cueste revolver la templa o que hasta se detenga, si no se hace nada al respecto. Por ello, debe encontrarse un compromiso para conseguir que las α-amilasas de la malta licuen el engrudo espeso (viscoso) y lo hagan así más fluido (menos viscoso). Pero las α-amilasas son inactivadas a temperaturas de alrededor de 80°C después de un corto tiempo de acción, de manera que ya no pueden licuar. Para esto, existen varias soluciones:

1. Si no se mezcla muy espesamente la templa de arroz, hay poco riesgo de que algo se queme. Para la desintegración del arroz se utiliza preferentemente una caldera de cocción de adjuntos. Esto es en las plantas más antiguas una caldera cerrada, en la cual la templa de arroz es engrudada bajo presión (= a temperaturas por encima de 100°C), siendo con esto desintegrada de forma óptima. Por lo general, se cuece hoy en día la templa de adjuntos sin sobrepresión, porque la energía adicional necesaria escasamente compensa la mayor cantidad de extracto obtenida.
2. La sémola de arroz es macerada con 10 a 20% de la templa de malta y mantenida durante 10 a 20 min a 78°C (Figura 3.43). En este proceso se engrudan y se licuan casi todos los granos de almidón del arroz, de manera que ya no existe el riesgo de que la templa de arroz se queme en la cocción subsiguiente.
3. Existen variedades de arroz, que engrudan recién por encima de 80°C. Quien quiera asegurarse, debe por ello calentar la templa

de arroz a 85 a 90°C, engrudarla en ese punto y enfriarla posteriormente a 70 a 75°C, para sacarificar después de breve tiempo, por medio de adición de templa de malta. Sin embargo, el proceso tiene la desventaja de que es muy dificultoso mezclar bien la templa de malta con la templa de arroz altamente viscosa. Siempre es mejor mezclar la templa de arroz antes de su engrudamiento con una parte de la templa de malta (por lo menos 10%), si ello es posible.

4. Una posibilidad adicional reside en calentar lentamente la templa de arroz con 10 a 20% de la templa de malta por encima de 80°C (Figura 3.44), a los efectos de licuar el almidón que se está engrudando, por medio de la α-amilasa, aún activa, de la malta.
5. Un método muy seguro consiste en agregar α-amilasa comercial, resistente al calor y producida por bacterias, que aún es activa a temperaturas mayores que 80°C y que licua así la templa de arroz viscosa. Respecto de la α-amilasa producida por medio de bacterias, ver Sección 3.2.4.3.5.6.

Si se ha logrado engrudar y licuar la templa de arroz, ya se ha pasado el mayor obstáculo. El procesamiento ulterior puede ser realizado, por ejemplo tal como se detalla a continuación:

El producto de partida es una sémola fina de arroz. La templa de arroz debería ser macerada con no menos de 5 hl de agua por cada 100 kg de sémola de arroz.

Con el arroz se obtiene un rendimiento aproximadamente 2% mayor que con la malta, lo cual debe ser tenido en cuenta en la carga.

Maceración con arroz; ejemplo 1 (Figura 3.43)

1. El arroz es mezclado con 10 a 20% de la carga de malta a 50°C y mantenido a esa temperatura durante 10 a 15 min. La cantidad de colada es aproximadamente 4 hl/dt de carga, para no espesar demasiado la templa.
2. Se incrementa lentamente la temperatura a 72 a 75°C y se mantiene durante 10 min.
3. La temperatura es incrementada en 15 a 20 min a 85°C, engrudando y licuando con ello el almidón del arroz.
4. La templa de adjuntos es llevada a ebullición y cocida durante 30 a 40 min.
5. Al principio de la cocción de la templa de adjuntos se mezcla la malta a 50°C (¡Reposo proteico!).
6. La templa de adjuntos es bombeada lentamente a la templa de malta, bajo agitación permanente. La temperatura de la templa total es entonces de 63°C (¡Reposo de formación de maltosa!).
7. Luego de 15 min de reposo, se extrae la templa espesa, se la lleva a ebullición y se la cuece durante 15 min.
8. Por medio del agregado de la templa hervida, se incrementa la temperatura de la templa total a 74°C (¡Reposo de sacarificación!).
9. Luego de la sacarificación se calienta la templa total a 78°C y se finaliza la maceración.

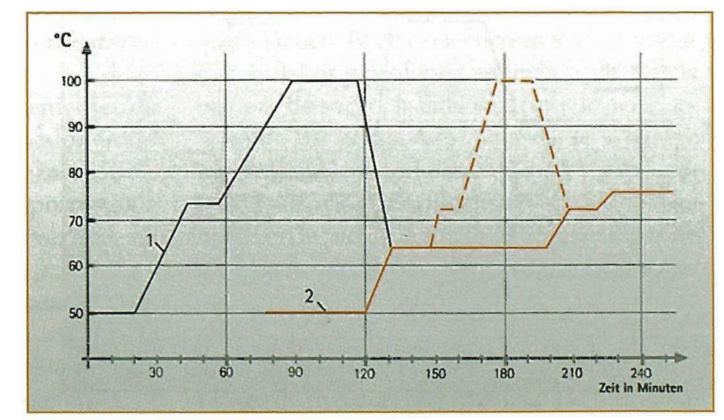


Figura 3.43
Maceración con arroz (ejemplo 1)
(1) templa de arroz, (2) templa de malta

Existen variedades de arroz cuyo almidón engruda recién por encima de 80°C. A los efectos de alcanzar un engrudamiento completo, algunas fábricas de cerveza calientan la templa pura de adjuntos, de acuerdo con una propuesta de Le Corvaisier, primeramente a 85 a 90°C (o realizan la mezcla con los adjuntos a esa temperatura). Así, ciertamente se engruda el almidón del arroz. Por medio del mezclado con templa de malta más fría, se llega a aproximadamente 75°C. Con esto está asegurado el procesamiento ulterior.

Maceración con arroz; ejemplo 2 (Figura 3.44)

1. El arroz es mezclado solo a 85 a 90°C y engrudado. La viscosidad de la templa no debe ser demasiado alta después del engrudamiento, dado que de lo contrario se espesa demasiado la templa, pudiendo eventualmente pegarse (en el caso extremo, puede detenerse el agitador) y ocurrir dificultades en la sacarificación. Es por eso, que se mezcla el arroz solo con un mínimo de 5 hl de colada (agua) por cada 1 dt.
2. La templa caliente de arroz es mezclada con templa de malta (20 % de la masa de malta) de mezcla más fría (30 a 50°C), de manera que la temperatura sea 72 a 75°C.
3. A una temperatura de 72 a 74°C, se mantiene un reposo de 20 a 30 min y se licua el almidón de arroz engrudado por medio de las enzimas intactas de la malta.
4. La templa licuada de arroz es llevada a ebullición y cocida durante 30 a 40 min.
5. Al inicio de la cocción de la templa de arroz se mezcla la restante malta a 50°C (¡Reposo proteico!).
6. La templa de arroz es bombeada, bajo agitación permanente, a la templa de malta y se incrementa la temperatura de la templa total a 63°C (¡Reposo de formación de maltosa!).
7. Luego de 15 min de reposo, se extrae la templa espesa, se la lleva a ebullición y se la cuece durante 15 min.
8. Por medio del agregado de la templa hervida, se incrementa la temperatura de la templa total a 74°C (¡Reposo de sacarificación!).
9. Luego de la sacarificación se calienta la templa total a 78°C y se finaliza la maceración.

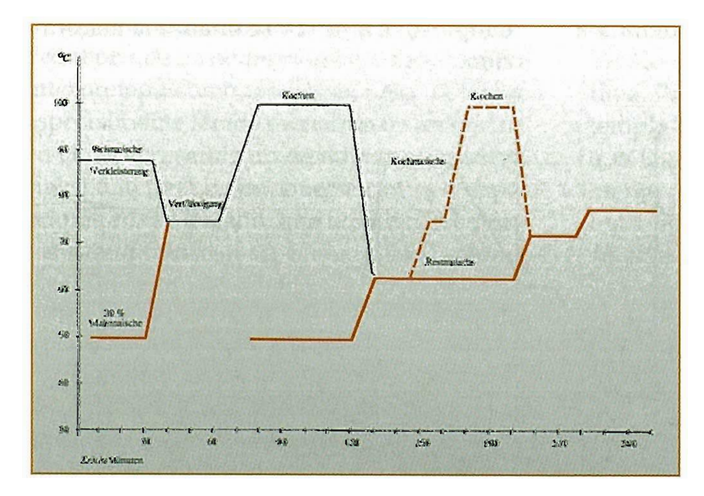


Figura 3.44
Maceración con arroz
(ejemplo 2)

3.2.4.3.5.2 Maceración con maíz

El grano de ***maíz*** posee un embrión con alto contenido de aceite (hasta 5% de contenido de grasa), el cual es extraído durante el tratamiento del grano para la producción de aceite de maíz. El maíz llega a la fábrica de cerveza en forma en sémola (grits) o flóculos (flakes).

Los grits se ofrecen en forma molida muy fina y usualmente son desintegrados y engrudados, con o sin agregado de malta, en la caldera de cocción de adjuntos.

Los flakes son aplanados por estrujamiento en un molino de flóculos. Los granos remojados

pasan en este proceso a través de rodillos lisos y enfriados internamente que, por medio de una presión de apriete de 50 t y sin velocidad diferencial, transforman los granos en flóculos planos, por estrujamiento. Posteriormente, se realiza el engrudamiento y el secado en el secador por flujo turbulento a aproximadamente 160°C. Los flakes tratados así pueden ser adicionados sin otro tratamiento a la cuba de maceración calentable.

La harina puede ser adicionada sin otro tratamiento a la cuba de maceración calentable; el jarabe recién se adiciona en la paila de mosto, antes del bombeo.

Para el coprocesamiento ulterior del maíz, rigen los aspectos considerados para templas puras de malta, utilizándose generalmente procesos de dos maceraciones.

3.2.4.3.5.3 Maceración con cebada, como adjunto

La cebada puede ser procesada sin adición de enzimas en hasta un 20% como adjunto, con la malta. Para ello, existen dos posibilidades de pretratamiento de la cebada:

- como molienda de cebada, por trituración de los granos muy duros de cebada en un molino de cilindros especial o en un molino de martinete. Se trituran aquí también las cáscaras fuertemente adheridas, lo cual debe ser tenido en cuenta en la filtración de mosto o
- como flóculos de cebada, provenientes de cebada pelada o sin pelar, formados en un molino de flóculos especial; este método es, sin embargo, muy costoso y tampoco puede ser utilizado en la fábrica de cerveza sin un gran esfuerzo.

Los adjuntos de cebada así pretratados pueden ser procesados junto con la templa de malta. Si bien no hay grandes problemas con la degradación de almidón, se debe monitorear la degradación de proteínas. Sobre todo, puede haber problemas con el β-glucano, dado que éste no ha sido degradado, por lo cual son de esperarse problemas de filtración. Por eso, debe realizase por lo menos una parte del trabajo de la maltería. Probaron ser exitosos los reposos prolongados a temperaturas de 45 a 50°C, que es el punto óptimo de temperatura de la endo-β-glucanasa (ver Sección 3.2.1.4).

La cebada contribuye inevitablemente con menos extracto que la malta. Se deben substituir 100 kg de malta por aproximadamente 125 kg de cebada (ó 120 kg de cebada pelada). La utilización de cebada como adjunto solo vale la pena, si los precios de la malta son mucho más altos o, si se dispone de cebada muy barata y pobre en proteínas.

Los adjuntos de cebada con una porción mayor que 20% requieren la adición de enzimas (ver más adelante).

3.2.4.3.5.4 Maceración con sorgo

La cerveza de sorgo es fabricada en muchos países africanos, siendo en Sudáfrica ya 30 millones de hl anuales. Se utiliza para ello 30 % de malta de sorgo y 70% de adjuntos, compuestos por sorgo, maíz o mijo de Millet; este último es un tipo de mijo de grano pequeño, que se utiliza también en Europa para propósitos nutricionales.

Usualmente se fabrica la cerveza de sorgo con una porción de maíz del 80 al 90%. En este proceso, el maíz es molido y mezclado con ácido láctico. El ácido láctico es aquí el portador de sabor y prolonga además la vida de la cerveza de sorgo, la cual ya de por sí es de solamente 100 horas. A esta mezcla se le agrega agua y se cuece todo durante dos horas, enfriándoselo posteriormente a 80°C. Se adiciona luego un tercio de la malta de sorgo y se enfría todo hasta 40°C. A esa temperatura se agregan los restantes dos tercios de la malta de sorgo y se enfría hasta aproximadamente 22°C. A esa temperatura se filtra y se adiciona levadura. Luego de tres días está finalizada la fermentación. El contenido alcohólico es entonces aproximadamente de 4% en volumen. La cerveza turbia de sorgo es envasada sin filtrar.

3

En muchos países africanos es cada vez más usual fabricar cerveza con instalaciones cerveceras convencionales, a partir de 100% de sorgo, sin adición de malta de cebada cervecera o de enzimas técnicas. Sin embargo, es necesario un proceso especial de maceración [131]. La malta de sorgo puede alcanzar valores de extracto de 79 a 84%, los cuales también tienen los correspondientes rendimientos. Asimismo, se puede lograr sin problemas la atenuación límite deseada.

El mosto es acidificado antes de ser cocido junto con los adjuntos. Para la degradación de proteínas, se trata de alcanzar un valor pH de 4,6 a una temperatura de 52°C, a los efectos de tener suficientes productos de degradación de proteínas de bajo peso molecular (FAN) para la nutrición de la levadura. Debe tenerse especialmente en cuenta la composición de las proteínas. No se puede alcanzar una estabilidad coloidal en las cervezas de mijo, sin recursos adicionales. En pequeñas fábricas rurales de cerveza no se adiciona lúpulo a la cerveza de sorgo. Se la pone turbia a la venta y su tiempo de conservación es breve [129].

3.2.4.3.5.5 Maceración con azúcar o jarabe de azúcar

El azúcar es soluble y fermentable. Por supuesto, el azúcar no es procesado solo, sino como aditivo en un 5 a 15% de la templa de malta, con eventual aditivo de adjuntos. Pero dado que el azúcar no tiene que ser degradado durante la maceración, se lo agrega en la paila de mosto recién 10 minutos antes del bombeo. Pero se debe tener en cuenta la cantidad de extracto con que contribuye el azúcar: en vez de 100 kg de malta se deben usar 78 kg de azúcar. Con el azúcar no entran en el mosto ninguna proteína ni cinc. Debe prestarse atención a esto último, en especial en lo referente al FAN, para que no haya dificultades de fermentación.

En vez del azúcar o jarabe de azúcar costosos, se puede utilizar también jarabe especial de alta fructosa HFSS (high fructose saccharose syrup) (ver Sección 1.5.7). La adición ocurre también en la paila de mosto.

3.2.4.3.5.6 Adición de enzimas durante la maceración

Todos los procesos vitales en los organismos vivientes son controlados enzimáticamente. Esto se aplica de igual forma a los procesos de síntesis en plantas y animales como a todos los procesos de degradación. Por ello, las enzimas son componentes funcionales imprescindibles de todos los organismos vivientes.

También todos los microorganismos disponen para ello de un modelo funcional de enzimas, específico para cada organismo, a través del cual son capaces de degradar determinadas substancias para obtener la energía que necesitan para vivir.

Importancia de las enzimas en la vida cotidiana

Las reacciones catalizadas por enzimas son utilizadas en el procesamiento de alimentos ya desde hace tiempos inmemoriales. Las enzimas son de antemano componentes de los alimentos (como por ejemplo en la cebada) o actúan a través de microorganismos (por ejemplo, a través de la levadura). Muchas tecnologías tradicionales, como por ejemplo la fabricación de quesos, se basan en la acción de enzimas microbianas. Si bien en esto las enzimas son formadas por microorganismos, las mismas actúan, sin embargo, también por fuera de la célula viva. Esto fue demostrado por primera vez por los hermanos Buchner en 1897, cuando molieron totalmente células de levadura y pudieron aun así producir una fermentación con el extracto libre de substancia celular (E. Buchner recibió en 1907 el Premio Nobel).

Hoy en día, una industria de enzimas propiamente dicha produce enzimas puras por toneladas. Nuestra práctica diaria sería imposible sin estas enzimas. Así, los productos para lavar contienen proteasas, lipasas, amilasas, celulasas y otras enzimas, todas ellas producidas

de forma microbiana. Éstas posibilitan la limpieza de productos textiles sucios a temperaturas tibias, eliminando el agua sucia de forma ampliamente ecológica. Pero también los detergentes para máquinas lavavajilla logran, a bajas temperaturas, una gran eficacia y un comportamiento cuidadoso del medio ambiente.

En la fabricación de productos textiles, las enzimas tiene una gran importancia en el desapresto, blanqueado y también en el ennoblecimiento de pantalones tipo "jean" (desgaste del color azul). Tampoco las industrias papelera y del cuero pueden trabajar sin enzimas.

Una gran importancia tienen las enzimas en la panificación, donde se encargan de una pastelería blanda y del tostado de la corteza y posibilitan trabajar con masa enfriada o congelada o demoran un envejecimiento (retrogradación del almidón) de la pastelería.

La importancia para la industrias del almidón y del azúcar, la fabricación de vinos y jugos de frutas, la obtención de proteínas, la fabricación de alimento para animales y en especial para la industria farmacéutica será mencionada solo de forma marginal.

También para la fabricación de cerveza se pueden utilizar tales preparados enzimáticos, siempre que la cerveza no sea fabricada según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot". En este caso, por supuesto, no se pueden adicionar otras enzimas, salvo las contenidas en la cebada y la levadura.

Pero como en muchos países se trabaja con adición de adjuntos, por motivos puramente económicos, y porque además pueden surgir problemas tecnológicos en la fabricación de cerveza, se informará aquí sobre las ventajas, la obtención y la utilización de enzimas en la fabricación de cerveza.

La utilización selectiva de enzimas ofrece, bajo determinadas circunstancias, una serie de ventajas:

- los preparados enzimáticos tienen una pronunciada especifidad de substrato y de reacción,
- tienen una alta velocidad de reacción a temperaturas moderadas,
- permiten un desarrollo de reacción dirigido y rápido, y
- pueden ser producidos técnicamente puros.

Las enzimas para la fabricación de cerveza, producidas a partir de mohos o bacterias, son en especial

- amilasas para favorecer la degradación de almidón en la sala de cocción ante grandes porciones de adjuntos y para la degradación sin residuos del almidón en la fabricación de cervezas con bajo contenido de hidratos de carbono (cerveza dietética),
- proteasas para intensificar la degradación de proteínas y para aumentar la porción de FAN,
- glucanasas para la degradación en la sala de cocción de glucanos de alto peso molecular, a los efectos de evitar problemas de filtración,
- decarboxilasas para evitar la formación de diacetilo durante la fermentación.

Estas enzimas de bacterias o mohos están configuradas, debido a la unión con otras proteínas portadoras, de otra manera que las enzimas de la cebada y de la malta. Por eso, tienen otro punto óptimo de temperatura y de valor pH que las enzimas de la malta.

Producción de enzimas

Para la producción de enzimas se realiza un cultivo puro del microorganismo que desarrolla la enzima deseada (o también varias), porque la requiere para su metabolismo. Este microorganismo puede ser un moho o un tipo de bacteria. El cultivo puro tiene lugar, al igual que en el cultivo puro de levaduras, en tanques cilíndrico-cónicos bajo condiciones óptimas para el microorganismo (solución nutritiva, valor pH óptimo, temperatura óptima, aireación, respectivamente condiciones anaerobias, etc.).

Cuando se ha generado suficiente biomasa,

se tritura el tejido. Esta desintegración de tejido requiere especial atención. El tejido es homogeneizado en presencia de un tampón de extracción, el cual a menudo tiene aditivos apropiados para proteger la enzima contra oxidación. Por lo general, en la extracción se deben reelaborar grandes cantidades del material de partida, porque es baja la porción de la enzima en la fracción extraída de proteínas y se pierden grandes cantidades durante la limpieza. Posteriormente, la enzima es enriquecida y purificada. En esto está en primer plano la separación de las proteínas ligantes con métodos de precipitación fraccionada o la separación según rangos de pesos moleculares. La fracción que contiene la enzima buscada es recogida y separada nuevamente.

La separación completa de las proteínas ligantes es realizada por procesos de electroforesis con gran capacidad de separación, de manera que al final del proceso se tiene una enzima pura, que está totalmente separada del microorganismo original y también se encuentra separada de otras enzimas y complejos enzimáticos de ese organismo.

El filtrado de cultivo obtenido así no es conservable por mucho tiempo. Para una conservación necesariamente más prolongada, debe ser transformado en un preparado de enzimas:

Concentrados de cultivos

Éstos se forman por concentración ulterior de un filtrado purificado y, por adición de un estabilizador, son conservables por más tiempo. Se suministran en forma líquida y deben ser almacenados en frío. Por lo general, se garantiza una conservación declarada de tres meses a 25°C. Por medio de enfriamiento, se puede prolongar a un año su capacidad para ser almacenado, pero entonces disminuye lentamente la actividad.

Productos secos

Éstos son fabricados, a partir de concentrados, por medio de secado por pulverización, por secado al vacío o por liofilización y se los comercializa en forma de polvo. Previo a ser adicionados se los revuelve en agua tibia y se activan.

Granulados

Los granulados de enzimas tienen un tamaño de grano de 0,4 a 0,6 mm, son bien conservables y también se dejan almacenar bien.

Utilización de preparados enzimáticos

Los preparados enzimáticos son comercializados por los fabricantes con nombres de fantasía. En la documentación acompañante, en especial en la hoja de datos de seguridad, se describen la fabricación, el campo de aplicación, la especificación de producto, las propiedades de la enzima, la dosificación, la utilización, la manipulación, las indicaciones de seguridad y las condiciones de almacenamiento.

Las indicaciones dadas por las empresas fabricantes deben ser observadas minuciosamente.

3.2.5 Duración de los procesos de maceración

En una pequeña fábrica de cerveza, la duración de un cocimiento es de importancia secundaria: si se macera sólo un cocimiento por día, se mezcla temprano y se termina por la tarde. En ese caso, una hora más no tiene importancia.

Sin embargo, cuantos más cocimientos deben realizarse por día, tanto más se está limitado en el tiempo disponible. En las grandes fábricas de cerveza modernas se terminan frecuentemente ocho o más cocimientos por día.

Con ocho cocimientos por día, la mezcla y finalización de maceración debe ocurrir cada tres horas; con 12 cocimientos diarios debe ser cada dos horas. Esto no solamente requiere la utilización de procesos cortos de maceración, sino también una planificación precisa de tiempos, que no tolera ningún tipo de retrasos y en la cual todo debe funcionar al minuto.

Un régimen de tiempos tal implica naturalmente la utilización de un control por ordenador en todo el proceso de cocimiento, en el que se excluyen errores subjetivos y en el que el cervecero tiene una función de control con alta responsabilidad.

Se debe calcular con las siguientes duraciones de maceración:

- procesos de infusión con maltas bien modificadas, 1,5 a 2 horas
- procesos de decocción, hasta 3 horas.

3.2.6 Control de la maceración

La maceración es realizada de acuerdo con las especificaciones establecidas por la dirección de la fábrica de cerveza. Para ello, la persona a cargo de la maceración debe registrar en el informe de cocimiento todos los detalles (cantidad de carga, volumen de bombeo, hora, temperatura, etc.). Estos registros deben ser realizados de forma precisa y son la base para los registros en el libro de cocimientos, que debe ser llevado por la fábrica de cerveza.

En las salas de cocción modernas, los valores son registrados y protocolados por ordenador. Están permanentemente disponibles a través del monitor, son almacenados y, de ser requerido, se dispone de ellos para ser impresos.

Pero en todos los casos, la prueba de yodo es realizada por la persona a cargo de la maceración.

3.3 Filtración del mosto

Al final del proceso de maceración, la templa está compuesta por una mezcla acuosa de substancias disueltas y no disueltas.

La solución acuosa de los extractos se llama mosto, las partes no disueltas se denominan heces o afrecho. Las heces están compuestas esencialmente por las cáscaras, los embriones y otras substancias que no entraron en solución durante la maceración o que han sido precipitadas nuevamente durante la cocción del mosto.

Para la fabricación de cerveza se utiliza solamente el mosto, el cual debe ser separado para ese propósito de las heces, en lo posible totalmente. Este proceso de separación se llama filtración del mosto.

En la filtración del mosto, el extracto debe ser recuperado, en lo posible de forma total.

La filtración del mosto es un proceso de filtración, en el que las heces cumplen el papel de material filtrante.

El proceso ocurre en dos fases, que se suceden de forma separada, una tras otra:

- la descarga del primer mosto (colada principal),
- el lavado de las heces para la extracción del extracto soluble (coladas secundarias).

3.3.1 Colada principal y coladas secundarias

El mosto que escurre de las heces se denomina primer mosto. Cuando el primer mosto ha escurrido a través de las heces, queda extracto en estas últimas. Este extracto debe ser recuperado, para trabajar de forma racional. Por este motivo, las heces son lavadas para extraer el extracto soluble, luego de haber sido descargado el primer mosto. El lavado para extracción diluye cada vez más el mosto.

A los efectos de obtener la concentración de mosto deseada al final de la filtración del mismo, el primer mosto deberá tener, por este motivo, un contenido de extracto 4 a 6% mayor que el de la cerveza a fabricar. Es decir, en una cerveza al 12%, deberá ser 16 a 20%.

El extracto retenido por las heces es extraído por lavado con agua caliente. Este proceso se denomina riego. Los mostos descargados y más diluidos se llaman coladas secundarias. Su contenido de extractos disminuye primero rápidamente y luego de forma cada vez más lenta, dado que el último extracto solamente es lavado de las heces con dificultad. Se trata aquí sobre todo de un proceso de difusión (Figura 3.45).

La cantidad de agua de riego depende de la cantidad y de la concentración del primer

mosto y de la concentración alcanzable en la paila. En una cerveza al 12% se tiene la siguiente relación:

concentración del primer mosto en %	relación de cantidades primer mosto : agua de riego
14	1:0,7
16	1:1,2
18	1:1,2
20	1:1,5
22	1:1,9

Cuanta más agua de riego pase a través de las heces, tanto más intensivamente son lavadas y tanto mayor es el rendimiento.

Pero también: cuanta más agua pasa a través de las heces, tanta más agua debe ser evaporada nuevamente.

Por eso, debe lograrse un compromiso entre

- tiempo de filtración y rendimiento, y
- duración de cocción y costos de energía.

Pero dado que con una mayor concentración del primer mosto, la cantidad de este último es inevitablemente menor, se puede regar tanto más cuanto mayor sea la concentración del primer mosto. Por este motivo, con un primer mosto de porcentaje más elevado se obtiene también un mayor rendimiento. En esto, la temperatura de filtración es de suma importancia.

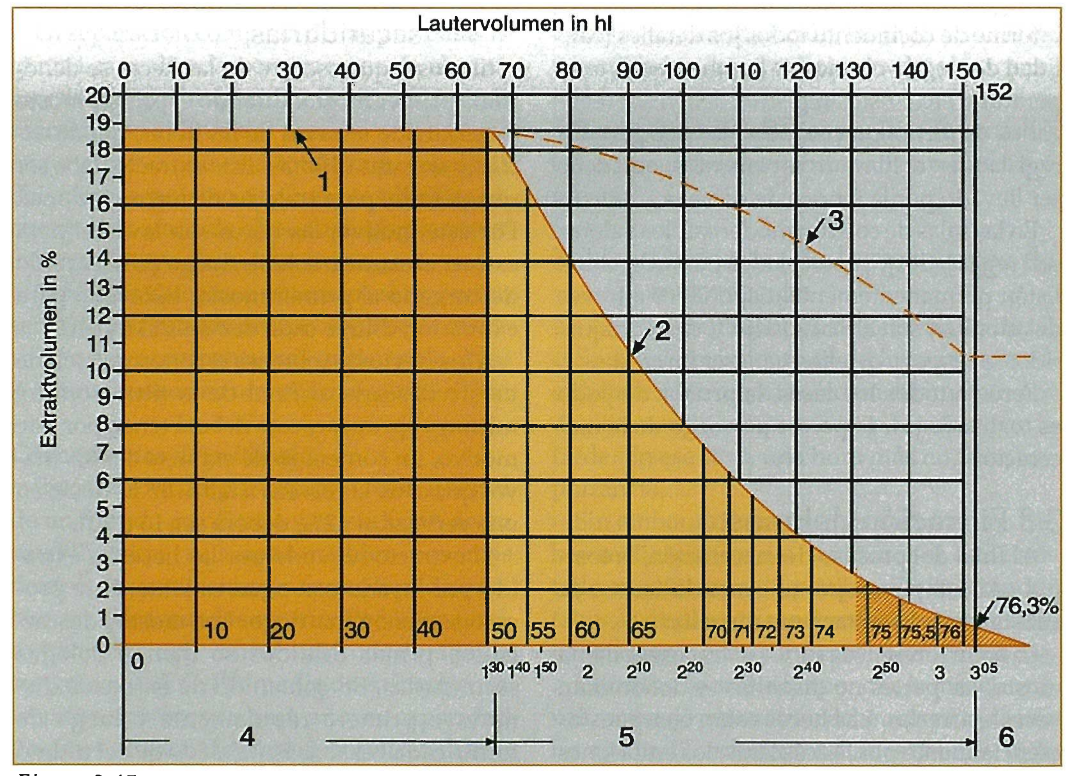


Figura 3.45
Diagrama de filtración (ejemplo)
(1) concentración del primer mosto, (2) concentración de las coladas secundarias, (3) concentración del mosto en el tanque de espera, respectivamente en la paila de mosto, (4) primer mosto, (5) coladas secundarias, (6) última agua

Con temperatura creciente disminuye la viscosidad del líquido.

Esto significa que la filtración del mosto sería lo más rápida a 100°C. Dado que en todos los casos se extrae por lavado, durante el riego, el almidón no disuelto y remanente en las heces, una sacarificación posterior, a través de α-amilasas, sólo puede ser realizada si estas últimas no fueron inactivadas por temperaturas mayores que 78°C. Por este motivo, una filtración a 100°C tiene siempre como resultado consecuente "cocimientos azules". En este caso, se debe tratar de reparar lo omitido por adición de una infusión de malta en la bodega de fermentación –con consecuencias negativas, sin embargo–.

Dado que la α-amilasa es destruida a 80 °C, es necesario mantenerse debajo de esa temperatura durante la filtración del mosto.

3.3.2 Última agua

Se riega hasta alcanzar la concentración deseada en la paila de mosto. El mosto de bajo porcentaje, que es descargado al final, se denomina última agua. La última agua tiene en las cervezas normales todavía un contenido de extractos de aproximadamente 2 (-3)%. No vale la pena continuar regando, porque los costos para la evaporación de la cantidad adicional de agua de riego excederían considerablemente el beneficio en forma de extracto recuperado (umbral costos-beneficio). Se la utiliza a veces como agua de mezcla o también como agua de riego para el próximo cocimiento. En el caso de las cervezas tipo Bock no se puede enjuagar suficientemente las heces, porque si no la concentración del mosto descendería demasiado. En estas cervezas, se utilizan a veces las últimas coladas secundarias como agua de mezcla para cerveza de baja concentración, la cual es fabricada en el próximo cocimiento.

Hacia el final de riego entran en solución cada vez más substancias indeseadas (taninos y compuestos amargos de la cáscara, ácido silícico, etc.):

	Composición del extracto en % en el primer mosto	en la colada secundaria
maltosa	58,95	53,07
substancias que contienen N	4,34	5,38
minerales	1,54	2,54
ácido silícico (como SiO_2)	0,1481	0,4536

Si se desea fabricar cerveza de alta calidad, no se deben enjuagar demasiado intensivamente las heces; es decir, lavarlas demasiado tiempo.

Bajo ese aspecto debe verse también la utilización de la última agua como agua de mezcla para el próximo cocimiento.

El riego prolongado y la reutilización de la última agua mejoran el rendimiento, pero desmejoran la calidad.

Si aun así se reutiliza la última agua, se la debería tratar con carbón activado, a los efectos de retener componentes de sabor indeseados. Por esto, se termina la filtración del mosto generalmente con la última colada secundaria.

Aparte de las reservas con respecto a la reutilización de última agua sin tratar, también los costos crecientes de energía ponen un límite, que se denomina umbral de aprovechamiento de última agua. De acuerdo con esto, la utilización de última agua solamente es rentable hasta donde haya, desde el punto de vista de los costos, una ganancia por extracto que supere la energía necesaria para la evaporación del agua.

La filtración del mosto se realiza con la cuba de filtración o con el filtro de templa.

3.3.3 Filtración del mosto con la cuba de filtración

La cuba de filtración es el equipo de filtración más antiguo y, por lejos, el más difundido. Consiste de un recipiente cilíndrico, so-

bre cuyo doble fondo ranurado se depositan las heces, filtrando el mosto.

En las últimas décadas ha habido una serie de cambios en el diseño y el modo de operación de las cubas de filtración. Dado que en Alemania hay aún en operación numerosas cubas de filtración de diseño antiguo, consideraremos a continuación primeramente éstas, dedicándonos luego a las cubas de filtración nuevas. Naturalmente, hay una gran cantidad de modificaciones intermedias, pero no todas pueden ser mencionadas.

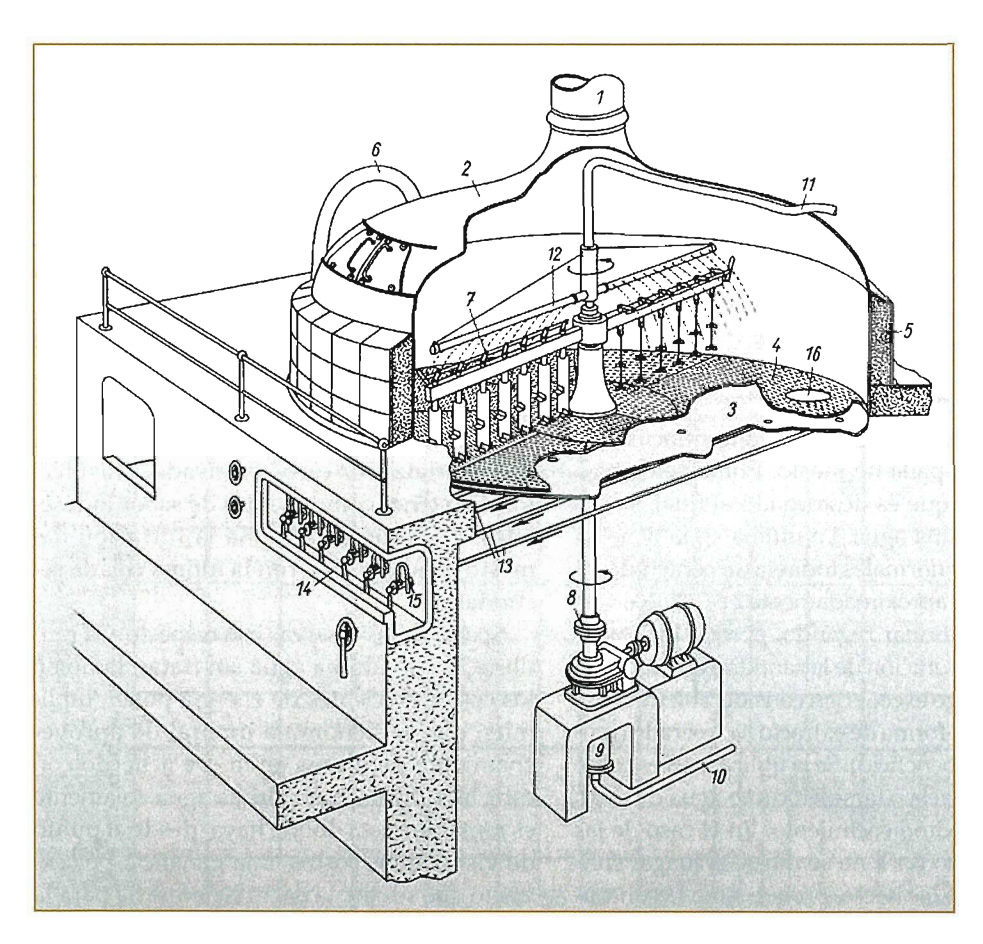


Figura 3.46
Cuba de filtración (construcción antigua)
(1) chimenea de vahos, (2) campana, (3) fondo de cuba de filtración, (4) fondo falso extraíble, (5) aislación, (6) tubería de entrada de la templa, (7) dispositivo de rastrillo con cuchillas, (8) accionamiento de dispositivo de rastrillo, (9) mecanismo elevador para dispositivo de rastrillo, (10) tubería de suministro de agua a presión, (11) tubería de suministro de agua de riego, (12) molinete aspersor, (13) tubos de descarga, (14) batería de clarificación para la comprobación del mosto, (15) válvula con cuello de cisne (16) boca de descarga de heces

3.3.3.1 Construcción de una cuba de filtración de diseño antiguo (Figura 3.46)

Parte del equipo	Tarea	Observaciones
chimenea de vahos (1)	extracción de vahos	Existen muchas cubas de filtración que no están provistas de chimeneas. Dado que nada debe evaporarse, tampoco es absolutamente necesaria. Pero es ventajosa para la extracción de vahos.
campana (2)	cubrir la cuba; protección contra pérdidas de calor	
fondo de la cuba (3)	acumulación de primer mosto y riegos	El fondo de la cuba de filtración es completamente plano y, por cada 1,2 a 1,5 m^2 de superficie, tiene una abertura, a la cual se encuentra conectado, por abajo, un tubo de descarga. Las aberturas se llaman agujeros de picadura. Están distribuidos lo más uniformemente posible sobre todo el fondo de la cuba.
fondo falso extraíble (4)	retención de las heces	Fondo falso de 3 a 5 mm de espesor, de bronce duro u otro material. Para el mosto que escurre hay, por cada 1 m^2, aproximadamente 2500 a 3000 ranuras de 30 a 70 mm de longitud y de 0,7 a 0,9 mm de ancho, las cuales se ensanchan hacia abajo a 3 a 4 mm, para evitar que se taponen con las heces. El área de pasaje ocupa aproximadamente hasta un 10% del área total. Para una mejor manipulación, el fondo falso se encuentra dividido en segmentos de 0,6 a 0,8 m^2, que son levantados para la limpieza y que pueden ser introducidos y extraídos a través de la puerta de campana de la cuba.
aislación (5)	evitar el enfriamiento del mosto	Cercado de la cuba de filtración con aislación térmica, como un muro. El enfriamiento ocurriría primero en el borde y las capas exteriores de mosto fluirían más lentamente, debido a su mayor viscosidad, reduciendo con ello el rendimiento.
tubería de entrada de la templa (6)	introducción de la templa en la cuba de filtración	La tubería de entrada de la templa corre desde la bomba de templa, ubicada debajo de los recipientes de maceración, a la cuba de filtración. La templa se bombea con una velocidad de 1,6 m/s. La introducción de la templa dura hasta 30 min.

Parte del equipo	Tarea	Observaciones
dispositivo de rastrillo (7)	aflojamiento de las heces	El dispositivo de rastrillo es denominado todavía frecuentemente unidad cortadora. Consiste de dos brazos, que tiene ubicadas una o dos hileras de cuchillas que apuntan hacia abajo. Las cuchillas son, por lo general, rectas o, a veces, onduladas y tienen pequeñas piezas transversales similares a arados para el aflojamiento de las heces. Las cuchillas son pasibles de ser movidas de forma paralela entre sí, a través de un sistema de varillaje. Por medio de una palanca o un volante se puede alinear las cuchillas en el sentido de rotación o transversal al mismo. Para cortar las heces, las cuchillas deben estar alineadas en el sentido de rotación.
	descargar las heces	Para empujar las heces hacia afuera (descarga de heces), las cuchillas son dispuestas de forma transversal al sentido de rotación.
accionamiento de dispositivo de rastrillo (8)	mover el dispositivo de rastrillo	El dispositivo de rastrillo se mueve por rotación del árbol de transmisión. Tiene dos velocidades: baja velocidad para cortar las heces; alta velocidad para la descarga de las heces.
mecanismo elevador para el dispositivo de rastrillo (9)	levantar o bajar las cuchillas	El extremo inferior del árbol de transmisión del dispositivo de rastrillo está conectado con un pistón, que puede ser movido hacia arriba y hacia abajo dentro de un cilindro fijo. Por medio de inyección de agua a presión debajo del pistón, se levanta el dispositivo de rastrillo y, con ello, las cuchillas. Disminuyendo la presión, se las baja nuevamente.
tubería de suministro de agua a presión (10)	suministro del agua a presión	El agua a presión debe ser producida con una bomba manual especial o el dispositivo de rastrillo debe ser movido hacia arriba y hacia abajo de forma mecánica.
tubería de suministro de agua de riego (11)	suministro del agua de riego	El agua de riego proveniente de la reserva de agua caliente debe ser llevada a la temperatura deseada de 78 a 80°C, en una batería mezcladora de agua.

Parte del equipo	Tarea	Observaciones
molinete aspersor (12)	distribución del agua de riego	El dispositivo de riego consiste de dos brazos movibles, los cuales están dispuestos, libremente móviles, encima del dispositivo de rastrillo (molinete aspersor) o se encuentran conectados de forma fija con el dispositivo de rastrillo y pueden rotar solamente junto con este último.
tubos de descarga (13)	descarga del mosto y de las coladas secundarias	Los tubos tienen una ligera pendiente hacia la canaleta colectora.
batería de clarificación para la comprobación del mosto (14)	acumulación del mosto y las coladas secundarias para el suministro a la paila	Todos los tubos de descarga desembocan en válvulas de descarga sobre un recipiente colector hecho de cobre, la canaleta colectora, la cual dispone de tres salidas de descarga: la 1ª a la bomba de mosto turbio, la 2ª a la paila de mosto y la 3ª a la descarga de agua residual.
válvula con cuello de cisne (15)	descarga uniforme	Las válvulas de descarga están construidas como válvulas con cuello de cisne (también llamadas grifo tipo Emslander) (Figura 3.47), llamadas así por su forma característica. El mosto debe subir por el tubo ascendente de esta válvula toda la pendiente ya recorrida. De esta manera, se compensa la succión formada, las heces no se compactan y la filtración del mosto se desarrolla más rápidamente. Las válvulas de descarga están conectadas a un tubo, a través del cual se puede, previo al inicio de la finalización de la maceración, pasar a presión agua caliente por los tubos de descarga debajo del fondo falso, a los efectos de evacuar el aire.
boca de descarga de heces (16)	evacuación de las heces	Para la descarga de las heces se abre la boca de descarga. Debajo de la boca de descarga hay colocada una artesa, dentro de la cual un transportador sinfín de heces lleva estas últimas hacia afuera.

Figura 3.47: Válvula con cuello de cisne
(1) tubo de descarga, (2) válvula en posición de descarga, (3) tubo ascendente con venteo, (4) abertura de purga, (5) canaleta colectora

La influencia perjudicial del oxígeno sobre el mosto ya es conocida desde hace mucho tiempo. Justo al descargar el mosto de las válvulas con cuello de cisne a la canaleta colectora, es muy alta la absorción de oxígeno. Para no tener que comprar una nueva cuba de filtración, muchas fábricas de cerveza han conectado los tubos de descarga (13) con un tubo colector, detrás de las válvulas en cuello de cisne, y llevan el mosto directamente a la paila o al tanque de espera, sin absorción de oxígeno. Se mantiene así la bella vista de la canaleta colectora, sin que cumpla una función en la filtración. Pero se la utiliza todavía en la descarga del agua de enjuague.

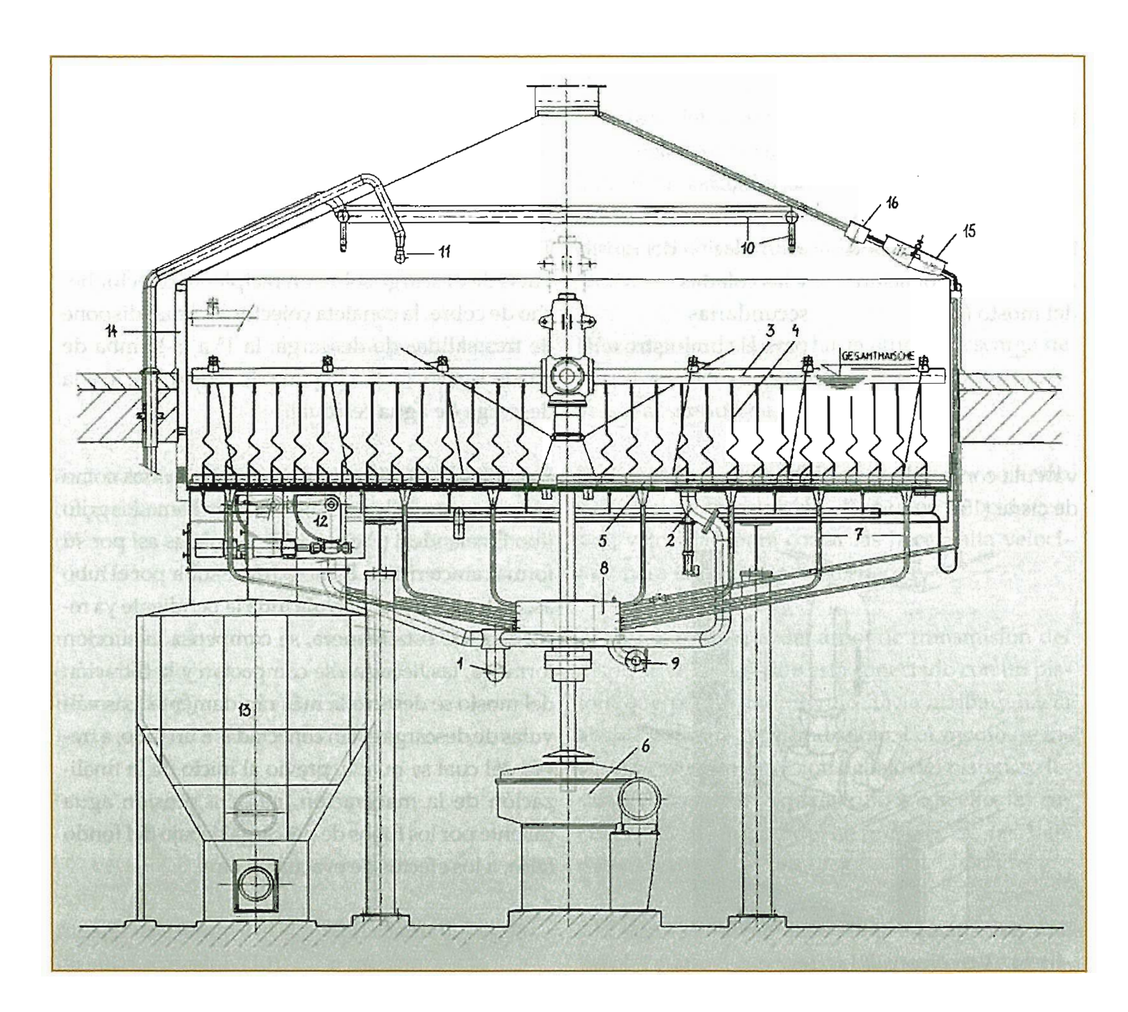


Figura 3.48: Cuba de filtración (tipo Huppmann)
(1) tubería de suministro de templa, (2) válvula de entrada de templa, (3) dispositivo de rastrillo o unidad cortadora, (4) cuchilla, (5) rastrillo de evacuación de heces, en posición baja, (6) accionamiento y mecanismo elevador para dispositivo de rastrillo, (7) tubos de descarga, (8) recipiente colector anular, (9) descarga de mosto a la bomba de mosto, (10) agua de riego, (11) cabezal rociador CIP, (12) válvula de heces, (13) artesa de heces, (14) aislación, (15) mirilla con acceso, (16) iluminación

3.3.3.2 Diseño de cubas de filtración de construcción moderna (Figuras 3.48 y 3.48a)

Como todos los otros equipos de la sala de cocción, también la cuba de filtración se fabrica hoy en día en acero al cromo-níquel y se la aísla térmicamente por todos los lados. La templa es alimentada por abajo, para mantener la absorción de oxígeno lo más baja posible (Figura 3.49).

Las 2 a 6 válvulas de asiento, de entrada, son operadas desde abajo (Figura 3.50) y deben garantizar un tiempo de entrada de templa de 10 min. La velocidad en la abertura de entrada no debe ser mayor que 1 m/s. El fondo falso está hecho hoy en día de acero al cromo-níquel y se lo construye (Figura 3.51) como fondo de ranura continua con anchos de ranura de 0,7 a 0,9 mm y área de pasaje de hasta

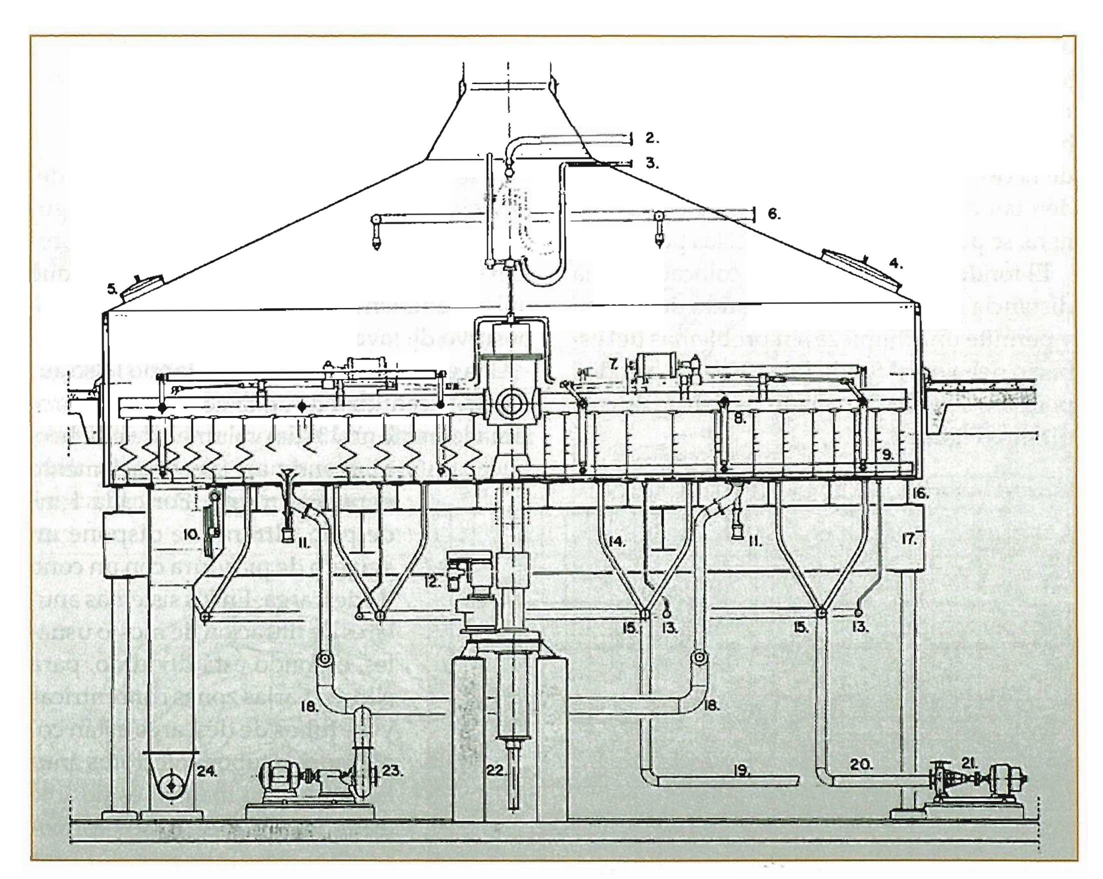


Figura 3.48a: Cuba de filtración (tipo Ziemann)
(2) tobera rociadora CIP, (3) conexión al sistema hidráulico, (4) abertura de acceso, (5) mirilla cubierta, (6) agua de riego, (7) cilindro hidráulico, (8) cuchilla, (9) rastrillo de heces, (10) descarga de heces (abierta), (11) entrada de templa, (12) accionamiento, (13) rociador de fondo falso, (14) tubos de descarga, (15) tubería anular, (16) vigas en T para el montaje firme, (17) subestructura, (18) entrada de la templa, (19) sistema de filtración 1, (20) sistema de filtración, (21) bomba de mosto, (22) cilindro hidráulico para elevar y bajar el dispositivo de rastrillo, (23) bomba de templa, (24) transportador sinfín de heces

12% o como fondo ranurado con ranuras de 0,7 mm de ancho por 80 mm de longitud y un área de pasaje de 8 a 10%.

La carga específica sobre el fondo falso es la siguiente

- 140 a 175 kg/m^2 con molienda seca
- 150 a 210 kg/m^2 con molienda acondicionada
- 200 a 280 kg/m^2 con acondicionamiento por remojo.

Gracias al perfil levemente inclinado de los alambres trapezoidales (Figura 3.51; 4) se mejoran las condiciones de flujo, lo cual resulta en mostos más brillantes. La posición de los alambres trapezoidales evita, durante la descarga de heces, que partículas de estas últimas queden tan trabadas en las ranuras. De esta manera, se pueden extraer mejor estas partículas.

El fondo falso se encuentra colocado a una distancia de 20 mm sobre el fondo de la cuba y permite una limpieza sin problemas del espacio debajo del fondo falso, debido a la disposición de toberas rociadoras debajo de este último (Figura 3.52).

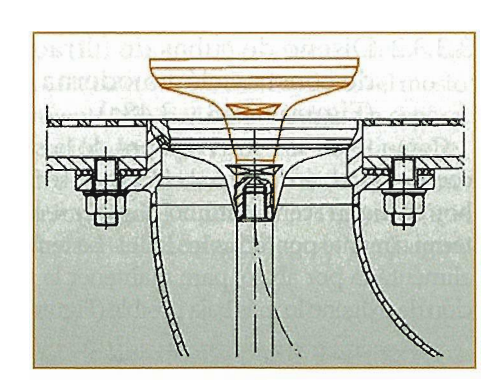


Figura 3.50
Válvula de entrada de templa, entrada por abajo

Si se coloca el fondo falso más cerca del fondo de la cuba, se deben colocar más agujeros de picadura. El límite inferior es aproximadamente 10 mm, porque se tienen que ubicar también las toberas rociadoras del dispositivo de lavado.

Una elevación en 10 mm del fondo falso aumenta la cantidad de agua de fondo en aproximadamente un 1% del volumen de bombeo, diluyendo así innecesariamente el primer mosto. Por cada 1 m^2 de piso filtrante se dispone un agujero de picadura con un cono de descarga. En los sistemas anulares de filtración de mosto usuales, el fondo está dividido, para ello, en varias zonas concéntricas y los tubos de descarga están conectados a tubos colectores anulares. De esta manera es posible un enjuague de extractos aproximadamente uniforme. En otro sistema (ver Figura 3.48), todos los tubos de descarga son conducidos a un recipiente central de acumulación de mosto, sin que el mosto entre en contacto con oxígeno.

En todos los sistemas hay sensores que garantizan una descarga

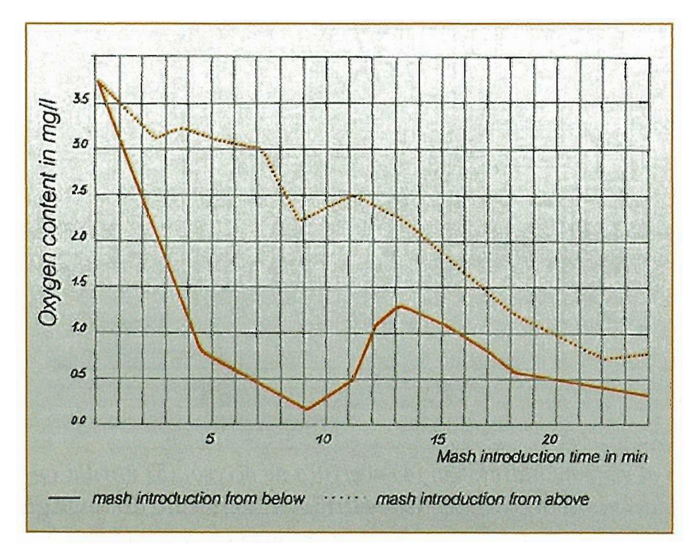


Figura 3.49
Contenido de oxígeno en la cuba de filtración durante la introducción de templa
Comparación entre la introducción por arriba y por abajo

libre de oxígeno y que desconectan la bomba en el caso de entrada de aire.

El dispositivo de rastrillo (llamado antes unidad cortadora) se construye con 2, 3, 4 ó 6 brazos, según el tamaño de cuba, y su velocidad es regulable de forma continua. La parte esencial del dispositivo de rastrillo está compuesta por las cuchillas especiales, que están colocadas en los brazos del dispositivo de rastrillo de

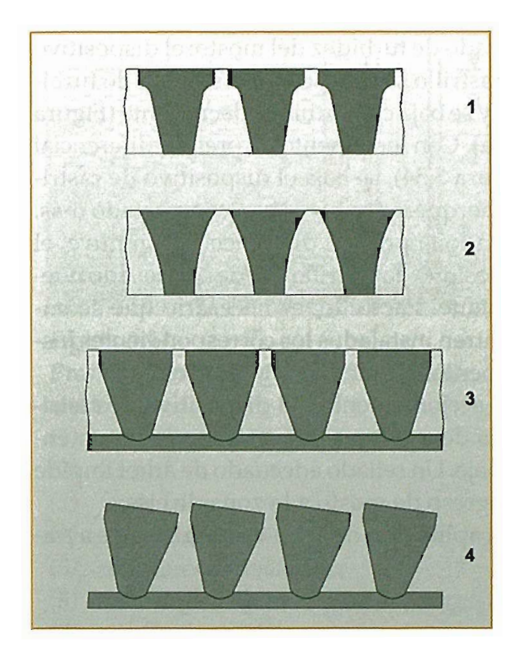


Figura 3.51
Diferentes construcciones de fondos de cuba
(1) fondo falso doblemente fresado, de bronce (construcción antigua), (2) fondo falso con fresado simple, (3) fondo de ranuras soldado de acero inoxidable, (4) fondo de ranuras soldado con alambres trapezoidales levemente inclinados

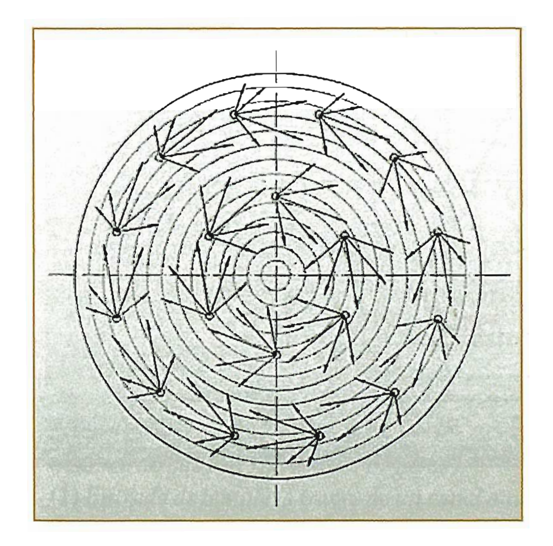


Figura 3.52
Limpieza CIP debajo del fondo falso

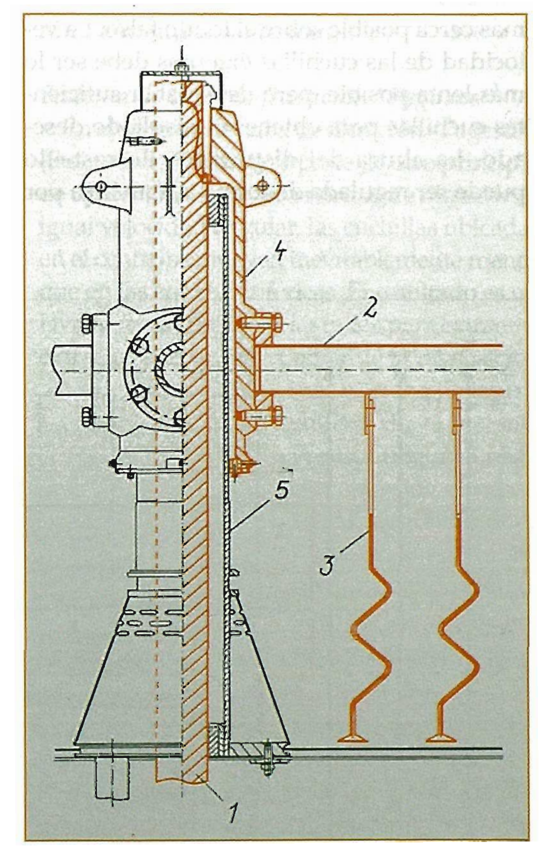


Figura 3.53
Accionamiento de dispositivo de rastrillo
(las partes dibujadas en rojo son giradas y pueden ser elevadas y bajadas)
(1) árbol de accionamiento y elevación,
(2) brazo de dispositivo de rastrillo,
(3) cuchilla,
(4) dispositivo de elevación
(5) bastidor de corona con soporte

manera tal que cada cuchilla tiene una trayectoria de corte propia. La forma de las cuchillas (Figura 3.53) y su disposición en los brazos del dispositivo de rastrillo aseguran la uniformidad en el aflojamiento de las heces y evitan una formación indeseada de canales.

Las cuchillas tienen una forma tal que causa que las heces "naden" en el tiempo más corto posible, sin destruir con ello la disposición de las capas. Las cuchillas deben ser operadas lo más cerca posible sobre el fondo falso. La velocidad de las cuchillas externas debe ser lo más lenta posible, pero debe haber suficientes cuchillas para obtener el resultado deseado. La altura del dispositivo de rastrillo puede ser regulada de forma automática por el grado de turbidez del mosto: el dispositivo de rastrillo se eleva con incremento de turbidez y se baja con turbidez decreciente (Figura 3.53a). Con incremento de presión diferencial (Figura 3.54), se baja el dispositivo de rastrillo, porque las heces se han compactado más. Cuando la presión diferencial disminuye, el dispositivo de rastrillo puede ser elevado nuevamente. Para ello, es necesario que se encuentren instalados los correspondientes instrumentos de medición y control.

El accionamiento del dispositivo de rastrillo es de arranque suave, a través de un engranaje. Un sellado adecuado de árbol impide el ingreso de mosto a la zona de ejes.

La aplicación de agua de riego ocurre a tra-

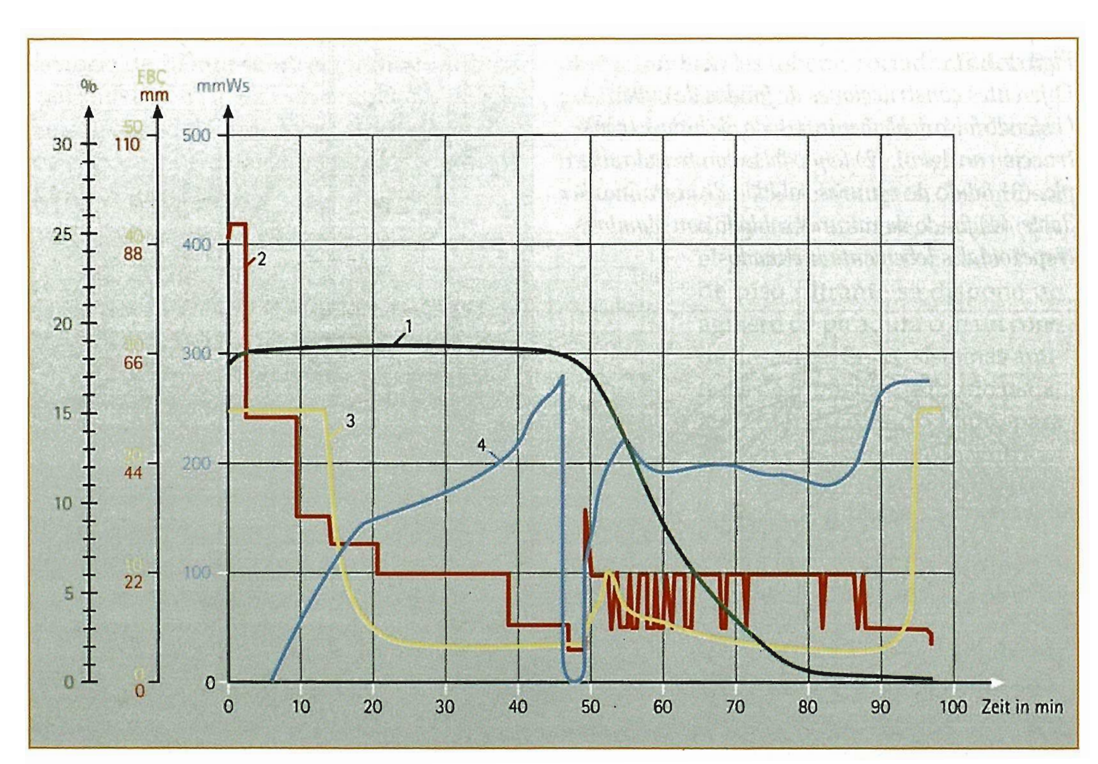


Figura 3.53 a
Desarrollo de distintos parámetros durante la filtración del mosto
(1) contenido de extracto en la salida de la cuba de filtración, (2) altura del mecanismo de elevación en mm, (3) turbidez en EBC, (4) presión diferencial en mm de columna de agua

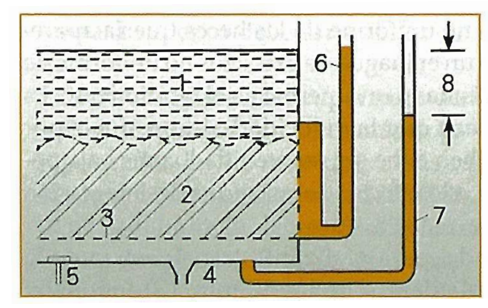


Figura 3.54
Presión diferencial durante la filtración de mosto
(1) mosto/ agua de riego
(2) heces
(3) fondo falso
(4) agujero de picadura
(5) rociadores de fondo falso
(6) nivel de llenado en la cuba de filtración
(7) presión de succión
(8) presión diferencial (resistencia de las heces)

vés de rociadores en abanico, que están ubicados en la parte superior de la cuba de filtración y que posibilitan una aplicación sin problemas del agua de riego.
La descarga de heces se realiza a través de varias válvulas de heces. Para ello, el dispositivo de rastrillo dispone de rastrillos de evacuación de heces que se articulan hacia abajo y que se encargan, debido a su conformación especial, de un rápido vaciado de la cuba de filtración (máximo 10 min).

Sistema de cuba de filtración "Pegasus"

En el sistema de cuba de filtración "Pegasus" (Steinecker, Freising) se parte de otro principio de operación: En la cuba normal de filtración, a igual velocidad angular, las cuchillas ubicadas en el centro se mueven inevitablemente menos que en las zonas periféricas. El resultado es un lavado no uniforme de las heces para extraer el extracto soluble, aun a pesar de la disposición más estrecha de las cuchillas. En el sistema Pegasus (Figura 3.54 a), esta situación es modificada separando de la filtración la zona interior y formando una superficie de filtración anular. De esta manera, las velocidades de corte de las cuchillas son aproximadamente iguales en todos los lugares. Dos picaduras/m² y tubos de descarga de igual longitud se encargan de un lavado uniforme de las heces para extraer el extracto soluble. La entrada de la templa se realiza a través del centro (1), la construcción del fondo falso ha sido provista de un nuevo so-

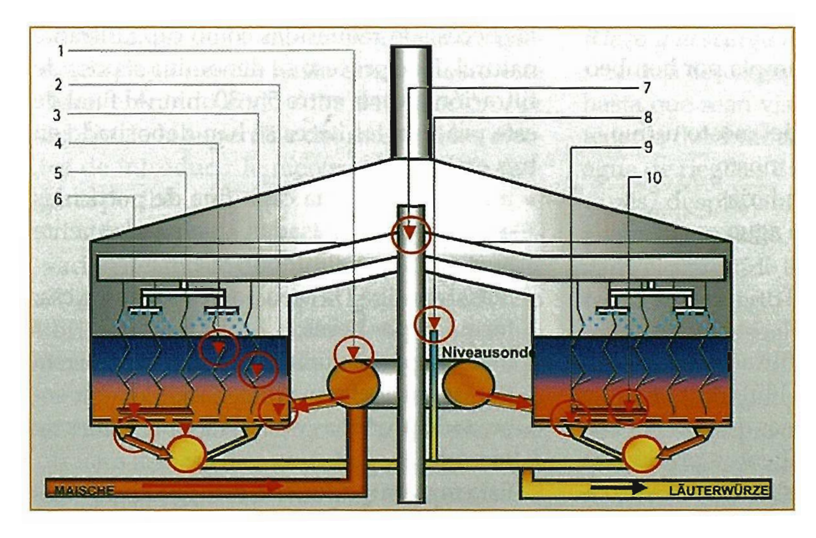


Figura 3.54 a
Sistema de cuba de filtración "Pegasus"
(1) Entrada de templa, a través de un canal anular, (2) fondo falso, (3) pieza de arado, (4) cuchilla, (5) canal anular de descarga, (6) vías de flujo de mosto, (7)guía de eje, (8) sensor de nivel, (9) zona de influencia de picadura, (10) rastrillo de evacuación de heces

3

porte y de mayor área de pasaje, y el dispositivo de rastrillo con equipo de evacuación de heces (10) es de diseño básicamente nuevo. Un sensor de nivel (8) se encarga de mantener un nivel uniforme del agua de riego. De esta manera, se eliminaron consecuentemente las desigualdades que suceden en el tratamiento de mosto cuando se utilizan cubas de filtración convencionales. Aun a pesar de la zona interior faltante, un Pegasus se construye con menor diámetro y menor superficie de filtración que una cuba convencional de filtración. Los informes de experiencias [259] demuestran, con una carga sobre el fondo falso de 320 kg/m^2, tiempos de filtración de mosto muy breves con poco extracto extraíble por lavado (0,8%).

3.3.3.3 Secuencia operativa en la filtración del mosto con la cuba de filtración convencional

La secuencia operativa con la cuba de filtración se realiza en varias etapas:

1. Expulsión del aire
2. Introducción de la templa por bombeo
3. Reposo de filtración
4. Bombeo de retorno del mosto turbio
5. Descarga del primer mosto
6. Riego/Coladas secundarias
7. Extracción de última agua
8. Evacuación de heces

Expulsión del aire

Para lograr una rápida filtración de mosto, el fondo falso debe estar libre de partículas contaminantes y de burbujas de aire. Por este motivo, se inyecta agua caliente a presión debajo del fondo falso y, de esta manera, se lo calienta al mismo tiempo.

Introducción de la templa por bombeo (transferencia de templa)

La templa es transferida a la cuba de filtración lo más rápidamente posible, distribuyéndosela allí uniformemente. Una distribución no uniforme de las heces traería aparejado un enjuague de extractos no uniforme de la mismas y una merma en el rendimiento. Es por eso que la velocidad al introducir por bombeo debe ser mantenida lo más baja posible, a los efectos de evitar una desintegración de la mezcla. Aun así, el caudal debe ser grande, para realizar la transferencia de la templa dentro de los 10 min. Esto requiere secciones grandes de tuberías. Es ventajoso realizar la introducción, por medio de bombeo, por abajo. En la cuba de maceración, se deja operando el agitador durante el vaciado, para que la templa quede mezclada.

Reposo de filtración

Luego de la introducción de la templa por bombeo, las heces sedimentan, en el caso de una carga específica sobre el fondo filtrante de 150 kg/m^2, con una altura aproximada de 25 cm; en el caso de carga específica de 200 kg/m^2, aproximadamente 34 cm. El primer mosto se acumula encima. Esto es necesario, porque las heces son requeridas como capa filtrante natural. Este proceso se denomina reposo de filtración y varía entre 5 y 30 min. Al final de este proceso, las heces se han depositado en tres capas:

- masa inferior: una capa fina de partículas gruesas y más pesadas, que parcialmente aún contienen almidón;
- masa principal: la capa por lejos más gruesa, formada por heces;
- masa superior: una capa fina, compuesta por las partículas más livianas de templa, sobre todo proteínas y pequeñas partículas de cáscaras.

Esta masa superior está compuesta por dos capas, de las cuales la inferior está formada esencialmente por heces. Esta capa de masa tiene un efecto perturbador sobre la filtración, porque es menos permeable que las otras capas. Para un enjuague de extractos uniforme de las heces, es necesario que esta capa esté distribuida uniformemente en todas partes.

La masa superior debe estar abierta lo antes posible.

Cuanto mayor es la temperatura de finalización de maceración, tanto más flojas están depositadas las heces y tanto más rápidamente se realiza la filtración del mosto.

Por este motivo, debe evitarse un enfriamiento durante la filtración del mosto.

Durante la transferencia de la templa, el dispositivo de rastrillo es elevado 20 cm por el control de la indicación de contenido de la cuba de filtración. Al final de la transferencia de la templa, es elevado totalmente y se detiene su movimiento rotatorio.

Purga y bombeo de retorno del mosto turbio

Entre el fondo de la cuba y el fondo falso se acumula primeramente una masa de fondo, que está compuesta por partículas no retenidas. Esta masa es retornada por bombeo, junto con el primer mosto, que de por sí está siempre turbio. Este primer mosto se llama mosto turbio y se lo retorna por bombeo desde 5 a 10 min antes de la finalización de la transferencia de la templa hasta que el mosto esté claro, entrando en la cuba de filtración por debajo de la superficie del mosto, a los efectos de introducir la menor cantidad de oxígeno posible.

En las cubas de filtración, en las que la filtración del mosto ocurre a través de válvulas, se remueve primeramente la masa de fondo abriendo por turno dos válvulas al mismo tiempo, cerrándolas de nuevo inmediatamente. A causa de esto, se forma un remolino en la zona aguas arriba de la válvula, que arrastra la masa de fondo. Este proceso se denomina purga o espitado y se lo repite dos a tres veces.

Descarga del primer mosto

El primer mosto debe descargarse lo más rápidamente posible, para no perder tiempo innecesariamente. La concentración del primer mosto es en todos los lugares la misma.

El primer mosto pasa a través de las heces y es filtrado así. Las heces oponen al mosto que fluye a través de las mismas una resistencia, que causa un efecto de succión, debido a que trata de escurrirse más mosto del que puede continuar fluyendo. Este efecto de succión causa que las heces se compacten e incrementen con ello la resistencia. Esto puede conducir finalmente a que se escurra cada vez menos mosto, lo cual a su vez demoraría considerablemente el proceso de filtración.

Por eso, los esfuerzos tienden a mantener la diferencia de presión tan baja como sea posible y a mantener flojas las heces. Por este motivo, el trabajo del dispositivo de rastrillo es controlado en las cubas modernas de filtración por la diferencia de presión.

En las cubas de filtración que trabajan con válvulas con cuello de cisne, éstas son abiertas solamente en un cuarto a un tercio. Además, el efecto de succión es reducido por el ascenso en las válvulas con cuello de cisne.

Riego y descarga de las coladas secundarias

Se deja descargar el primer mosto solamente hasta que sean visibles las heces, para mantener la flotabilidad de las mismas. Luego, el agua de riego es dispuesta sobre el mosto en capas, desplazando lentamente a éste, de arriba hacia abajo. Con esto, se extrae por lavado el azúcar de las heces, pero este proceso requiere un cierto tiempo, debido a que el extracto no se disuelve tan rápidamente de las heces.

Se puede regar continuamente. Es decir, se adiciona siempre tanta agua de riego como la que escurre por abajo como colada secundaria o se riega en varias coladas secundarias. Si bien es un poco más rápido si se riega continuamente, el rendimiento es sin embargo mayor si se trabaja con dos o tres pequeñas coladas secundarias, porque entonces el agua de riego tiene más tiempo para remover el extracto de las heces. El reducido mezclado y, con ello, la mayor diferencia de extracto en-

tre el agua de riego y la solución de extracto contenida en la heces aceleran el enjuague de extracto (extracción).

Ambos procesos son usuales en la práctica. Sin embargo, un riego continuado tiene ventajas por

- filtración clara del mosto,
- menos enjuague de las cáscaras,
- menor absorción de oxígeno,
- ahorro de tiempo,
- obtención de cervezas más finas, y
- mejor estabilidad de sabor.

Antes o durante el riego se pone en movimiento el dispositivo de rastrillo. La utilización del dispositivo de rastrillo depende sobre todo de la filtrabilidad de la malta. Se corta primeramente la superficie de las heces, bajando luego lentamente el dispositivo de rastrillo, hasta que las cuchillas corten a aproximadamente 5 a 10 cm por encima del fondo falso. Más profundamente no se debe bajar las cuchillas, porque si no el mosto se enturbia nuevamente. El trabajo con el dispositivo de rastrillo determina de forma importante la duración de la filtración y la claridad del mosto escurrido.

Para trabajar de forma óptima, es necesaria la medición e indicación permanente

- *del caudal del mosto que escurre,*
- *de la diferencia de presión (ver Figura 3.54), y*
- *del valor de turbidez.*

Si aumenta el valor de turbidez, las cuchillas deben ser elevadas y viceversa. Si aumenta la diferencia de presión, se incrementa la resistencia causada por las heces y se deben descender las cuchillas y aflojar las heces. Pero con ello, aumenta prontamente el valor de turbidez y todo el proceso comienza nuevamente.

La finalización de la filtración del mosto es determinada por la medición de la concentración del mosto en la paila. De esta manera, se puede lograr que con el último hectolitro de colada secundaria de las heces se haya alcanzado la finalización de la filtración y que no sea necesaria la última agua. Si no se reutiliza la última agua, ésta implica una pérdida de energía y una carga para las aguas residuales.

Por supuesto que se puede extraer el primer mosto por arriba. No se producen pérdidas de extracto por esto, porque la concentración del primer mosto, antes y después de las heces, es totalmente la misma, al contrario de lo que sucede durante el riego. Solamente es problemático el contenido de sólidos, dado que las partículas finas sólo sedimentan lentamente. Pero si se extrae el mosto por arriba y se lo filtra finamente, se puede con ello reducir el tiempo de filtración en aproximadamente 20 min, sin tener que sufrir mermas en el rendimiento. Tales equipos adicionales son ofrecidos hoy en día por las empresas especializadas.

Evacuación de heces

Luego de la descarga de la última agua, el dispositivo de rastrillo es elevado y las cuchillas se llevan a la posición transversal o, en el caso de cubas modernas, se gira hacia abajo el rastrillo de evacuación de heces y se empujan estas últimas hacia la boca de descarga de heces, mientras baja lentamente el dispositivo de evacuación de heces.

En un ciclo de dos horas, se debe calcular con los siguientes tiempos de ciclo (indicaciones en min):

suministro de agua:		2
llenado:		8
purga:		2
bombeo de mosto turbio:		3 ;
	total:	15
primer mosto:		45
coladas secundarias:		45 ;
	total:	90
vaciado:		3
destrabar:		1
evacuación de heces:		8
enjuague de fondo falso:		2
vaciado:		1 ;
	total:	15
tiempo total de ocupación:		120 min.

3.3.4 Filtración del mosto con el filtro de templa

El filtro de templa es el competidor de la cuba de filtración, pero no está tan difundido como esta última. En lugar de la gruesa capa de heces, a través de cual se filtra en la cuba de filtración, se utiliza en el filtro de templa una capa de heces de sólo 4 a 6 cm de espesor, dado que aquí la filtración se realiza en primer lugar a través de telas filtrantes de malla fina. De este modo, es posible una mejor recuperación del extracto absorbido en las heces. En tiempos recientes se han desarrollado los filtros de templa desde puntos de vista completamente nuevos. Es por eso que debemos diferenciar entre los filtros de templa convencionales, tal como se construían hasta aproximadamente 1970, y los filtros nuevos.

3.3.4.1 Filtros de templa convencionales

3.3.4.1.1 Diseño de un filtro de templa convencional

El filtro de templa convencional ha sufrido una serie de modificaciones con el correr de los años, pero en su estructura básica se mantuvo igual. Ello incluye (Figura 3.55) un bastidor portante rígido (1) con viga portante (2) para sostener marcos y placas. Por medio de una placa fija de cabecera (3) y una placa mó-

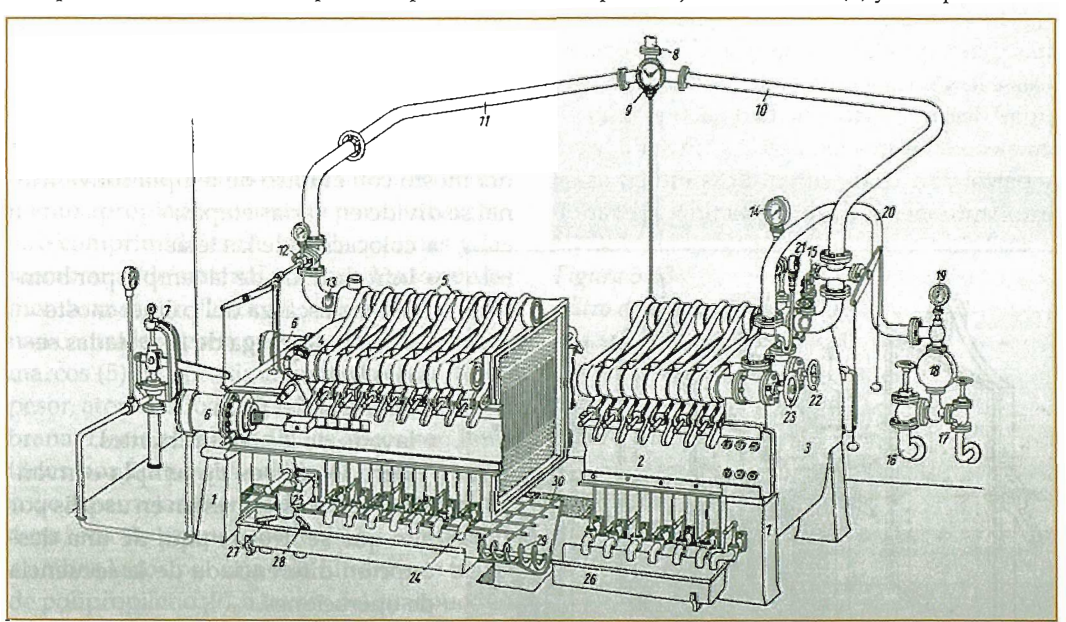


Figura 3.55: Filtro de templa (diseño convencional)
(1) bastidor portante, (2) vigas portantes, (3) placa fija de cabecera, (4) placa móvil de cabecera, (5) marcos y placas, (6) dispositivo de compresión, (7) bomba manual, (8) tubería de suministro de templa, (9) válvula de control, (10) tubería de suministro de templa a la placa fija de cabecera, (11) tubería de suministro de templa a la placa móvil de cabecera, (12) válvula de cierre, (13) mirilla, (14) manómetro, (15) válvula de seguridad, (16) entrada de agua caliente, (17) entrada de agua fría, (18) batería mezcladora, (19) termómetro, (20) tubería de suministro de agua de riego, (21) manómetro para agua de riego, (22) válvula para tubería inferior de riego, (23) válvula para tubería superior de riego, (24) válvula de descarga, (25) válvula universal, (26) canaleta de mosto, (27) tubería de descarga de mosto, (28) tubería de aguas residuales, (29) artesa de heces, (30) barras de parrilla

vil de cabecera (4) se limita el paquete de marcos y placas y se lo comprime durante la filtración.

Las partes esenciales de funcionamiento del filtro son los marcos y las placas (5). Los marcos sirven para recibir las heces. Su forma es cuadrada y usualmente está en el orden de 1,2 m×1,2 m; la profundidad del marco es de 6 cm, resultando así una capacidad de los marcos de 0,8 a 1,0 hl cada uno. Según el tamaño del filtro, su cantidad puede variar entre 10 y 60. Dado que sólo los marcos pueden recibir las heces, se puede calcular la capacidad del filtro multiplicando la capacidad de un marco por la cantidad de marcos.

Dado que después de la finalización de la maceración todos los marcos deben encontrarse llenos con heces, se debe adecuar la cantidad de carga a la capacidad del filtro. Se calcula con la formación de 1,2 a 1,4 hl de heces a partir de 1 dt de carga. El volumen es en esto tanto menor cuanto más fino se ha molturado. Sobre cada marco se encuentra un agujero, que tiene el doble de profundidad que el marco. Luego de haber sido ensamblado el filtro juntando las unidades por empuje, estos agujeros forman un canal continuo de suministro de templa, que de ningún modo está en contacto con las placas. Los agujeros están conectados con el interior de los marcos a través de una abertura con forma de rendija. En cada marco hay insertadas empaquetaduras de goma, previstas para evitar pérdidas de mosto. Las empaquetaduras deben ser substituidas anualmente, porque la elasticidad de la goma disminuye con el tiempo, dejando así de ser estanco el filtro (Figura 3.59).

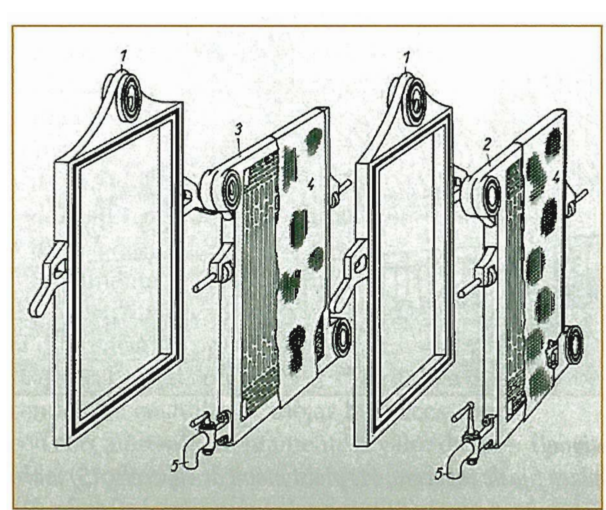


Figura 3.59
Orden de ubicación de los marcos y placas en el filtro
(1) marco
(2) placa con tubo de alimentación abajo (placa de agua)
(3) placa con tubo de alimentación arriba (placa de mosto)
(4) tela filtrante
(5) válvula (grifo)

3.3.4.1.2 Secuencia operativa en el filtro de templa

La secuencia operativa durante la filtración del mosto con el filtro de templa convencional se divide en varias etapas:

- colocación de las telas
- introducción de la templa por bombeo y descarga del primer mosto
- riego y descarga de las coladas secundarias
- apertura del filtro
- lavado de las telas filtrantes.

Pero los filtros de templa convencionales ya casi no están en uso. Es por ello que se desiste aquí de una descripción diferenciada de la secuencia de operaciones.

3.3.4.2 Filtros de templa de nueva generación

En la competencia entre la cuba de filtración y el filtro de templa, en cuanto a rendimiento y resultado de cocimiento, se ha introducido en la última década al mercado una nueva generación de filtros, que representan una considerable mejora frente a los filtros antiguos.

3.3.4.2.1 Filtro de templa 2001

El filtro de templa Meura 2001 (Figura 3.63) consiste en módulos de cámaras de membrana y placas (Figura 3.63a) colocados de forma alternada uno tras otro, siendo estos elementos de polipropileno, que tiene un coeficiente de transmisión de calor muy bajo. Las placas se fabricaban primeramente como placas de rejilla, produciéndoselas luego como placas integrales estriadas, lo cual sin embargo no es relevante para su función. Las medidas exteriores de las placas y los módulos son 2,0×1,8 m. Un filtro tiene hasta 60 placas.

Los módulos de cámaras de membrana (1) consisten de una placa (2) fina estriada de aproximadamente 1 cm de espesor, que está cubierta en ambas caras por una membrana elástica de material sintético (3). La placa está conectada, a través de un empalme de tubo flexible (4), a un tubo distribuidor de aire comprimido ubicado encima del filtro. En el momento apropiado, se inyecta por este camino aire comprimido entre las placas finas y las membranas de material sintético. Dado que las membranas son elásticas, se dilatan y presionan contra las heces, que se encuentran en los marcos (5) de aproximadamente 4 cm de espesor, atornillados a ambos lados de la membrana. Hacia el otro lado, las heces son limitadas por las placas rejilla (6). Éstas placas, cuyo espesor también es de aproximadamente 4 cm, son de polipropileno y están cubiertas a ambos lados por una tela filtrante de tejido de polipropileno (9), a través del cual pueden pasar el primer mosto y las coladas secundarias. Luego de la compresión del filtro, se



Figura 3.63
Filtro de templa Meura 2001
(Foto Meura, Tournai/B)

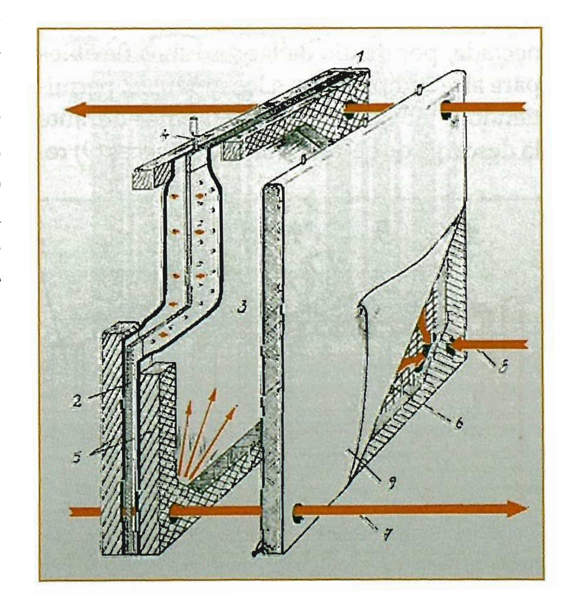


Figura 3.63a
Filtro de templa Meura 2001 - Módulo de cámara de membrana y placa de rejilla
(1) módulo, (2) placa estriada, (3) membrana elástica de material sintético, (4) conexión de tubo flexible para aire comprimido (lateral), (5) marco, (6) placa rejilla, (7) canal de alimentación de templa, (8) canal de descarga de mosto, (9) tela filtrante

forma así, entre cada módulo de cámara de membrana y cada placa de filtración, una cámara de aproximadamente 4 cm de profundidad, que recibe las heces.

En la parte inferior del filtro hay adelante y atrás sendos canales de dimensiones importantes que atraviesan todos los módulos y placas. Un canal (7) está previsto para la entrada de la templa y posteriormente para el agua de riego; está conectado a ambos lados con cada módulo de cámara de membrana. El canal del otro lado (8) recibe el primer mosto y las coladas secundarias y los descarga. A través de la alimentación y descarga por abajo se logra purgar el aire durante el llenado y un ingreso de oxígeno mínimo.

Un canal en la parte superior posibilita la evacuación del aire durante el llenado del filtro.

El filtro ensamblado consiste (Figura 3.63b) de una placa fija de cabecera (1) y una placa móvil de cabecera (2), entre las cuales reposan sobre vigas portantes (5) las hasta 60 placas (3) y módulos (4) corredizos. En la placa fija de cabecera se encuentran las conexiones de alimentación de la templa (6) y de descarga del mosto (7). El suministro de aire comprimido se realiza a través de una tubería fija, ubicada encima del filtro (8), la cual está conectada, por medio de largos tubos flexibles para aire comprimido, a los módulos, permitiendo la movilidad de estos últimos durante la descarga de heces. La artesa de heces (9) recibe a estas últimas y las transporta hacia afuera. Todo el proceso está automatizado, por medio de dispositivos de medición y control incorporados.

Secuencia de operación durante la filtración de mosto con el filtro Meura 2001 (Figura 3.64)

A continuación se describe la secuencia de operación y se la aclara con ilustraciones. En las ilustraciones se puso énfasis en la claridad de entendimiento de las líneas de alimentación y de descarga. Debido a ello, se redujo inevitablemente un poco la representación de las telas filtrantes que se encuentran sobre las placas. En todos los croquis se puede ver a ambos lados de las placas una tela filtrante ajustada sobre cada una de ellas, sin la cual no se entendería la descripción de funcionamiento.

Llenado del filtro (a):

La templa es bombeada por abajo, de ambos lados, en los módulos de cámara de membrana, a través del canal en la parte inferior (Figura 3.63b, 7), con una presión de 0,15 a 0,2 bar (m); el primer mosto se descarga inmediatamente, a través de las telas filtrantes de la placa rejilla.

Filtración de la templa, descarga del primer mosto (b):

Mientras se introduce totalmente la templa por bombeo, la torta de heces de espesor creciente puede formase bien dentro de la cá-

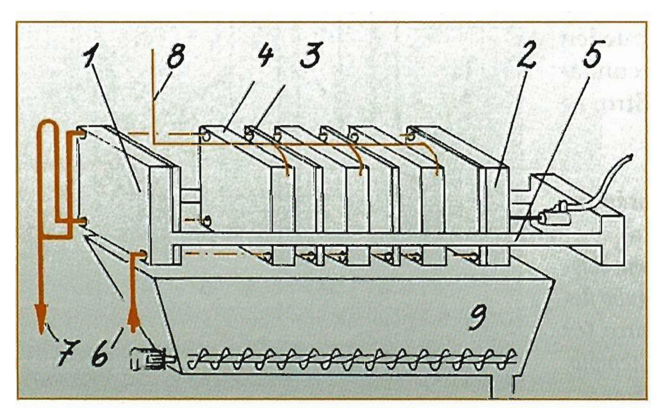
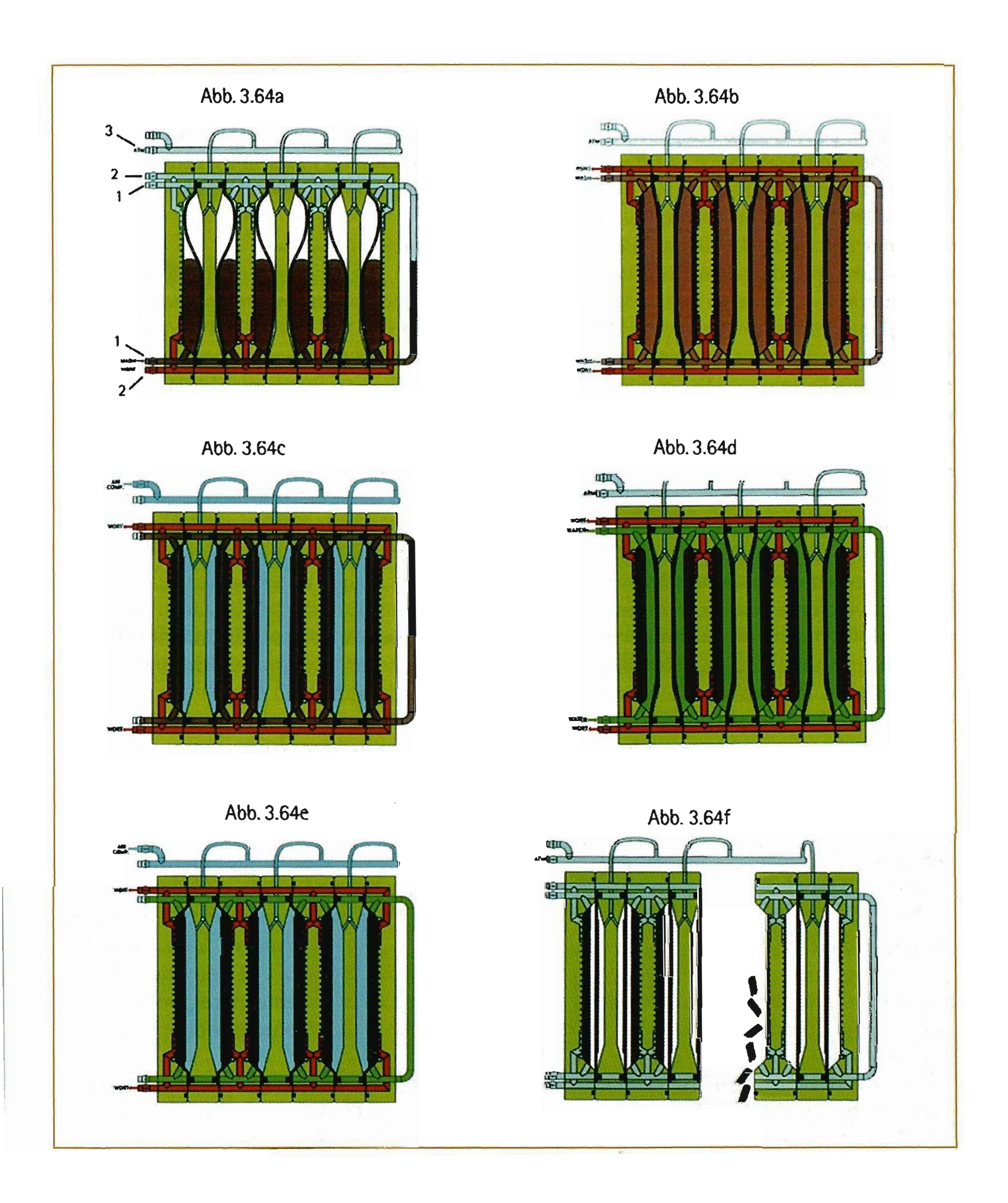


Figura 3.63b
Filtro de templa Meura 2001 (esquema)
(1) placa fija de cabecera,
(2) placa móvil de cabecera,
(3) placa rejilla,
(4) módulo,
(5) viga portante,
(6) tubería de alimentación de templa,
(7) tubería de descarga de mosto,
(8) suministro de aire comprimido
(9) artesa de heces con sinfín de evacuación



Figuras 3.64a-f
Secuencia de operación en el filtro de templa Meura 2001
(a) llenado del filtro, (b) filtrado del primer mosto, (c) primera compresión, (d) riego, (e) compresión final, (f) descarga de heces

mara, dado que el primer mosto se descarga permanentemente. La presión crece levemente durante los primeros 10 min, permaneciendo luego aproximadamente constante en 0,4 a 0,5 bar (m). Cuando toda la templa ha pasado a través del filtro, todas las cámaras deben estar llenas con heces. La descarga del primer mosto dura aproximadamente 20 min.

Si una parte de la carga de malta es substituida por adjuntos, se deben calcular equivalencias, dado que los volúmenes varían y un filtro insuficientemente lleno puede causar pérdidas de rendimiento, porque en ese caso el agua de riego pasa a través del filtro sin ser aprovechada.

Primera compresión (c):

Cuando el primer mosto ha sido descargado, se exprimen las heces. Para ello, se cierra la válvula de entrada y, a través de los tubos flexibles de aire comprimido encima del filtro, las membranas de las placas de cámara de membrana son presionadas con aire comprimido (azul) a una presión de 0,5 a 0,6 bar (m) contra las heces, exprimiendo así el primer mosto restante. El espesor de la capa de heces disminuye así de cuatro a tres cm. Este proceso dura aproximadamente 5 min, procediéndose luego inmediatamente al riego.

Riego (d):

El riego consiste de dos pasos: en el primer paso se introduce el agua de riego (verde) por abajo. El agua de riego ocupa el lugar libre formado por las membranas empujadas hacia atrás, luego de ser aliviado el aire comprimido.

Tan pronto como el filtro está lleno de agua, se descargan las coladas secundarias por arriba y por abajo, bajo constante suministro de agua de riego. El agua de riego a 78°C extrae por lavado el azúcar de las heces durante su pasaje a través de las mismas, en tanto las coladas secundarias se descargan detrás de las telas filtrantes de las placas rejilla. Este proceso es, con una duración de 50 a 55 min, inevitablemente el más prolongado. La presión en el filtro aumenta aquí a 0,6 (a 0,8) bar (m). En ese tiempo, la concentración disminuye finalmente hasta la de última agua de 0,8 a 1% de contenido de extracto.

Compresión final (e):

Al final, las heces son exprimidas una vez más, en dos pasos, incrementando para ello la presión finalmente a 0,8 bar (m). De este modo, se saca el extracto restante y las heces son secadas hasta un contenido de sólidos de aproximadamente 25 a 30%. Con esa consistencia, las heces todavía se pueden transportar bien. Se puede continuar reduciendo el contenido de agua, por medio de una compresión más fuerte [hasta una presión mayor que 1,2 bar (m)]. Pero entonces las heces están tan secas, que no se forman tapones en la tubería, produciéndose formación de puentes en el silo de heces. Esto dificulta el transporte de heces. Este proceso dura aproximadamente 10 min.

Descarga de heces (f):

Al abrir el filtro, las heces caen en la artesa y son evacuadas. Es necesario realizar un control de que no queden residuos de heces. Este proceso dura aproximadamente 10 min. Luego el filtro es cerrado nuevamente, quedando a disposición para el próximo cocimiento. Las telas filtrantes no son sacadas para limpieza. La apertura y el cierre del filtro suceden automáticamente, pero pueden ser interrumpidos fácilmente por el operador, en caso de necesidad.

La duración total de ocupación del filtro es así de 100 a 110 min y posibilita así una secuencia de cocimiento de dos horas = 12 cocimientos por día.

Limpieza al final de la semana de cocimiento:

Al final de la semana de cocimiento, las telas filtrantes son rociadas, sin ser sacadas. Es conveniente un llenado y una recirculación

por bombeo de varias horas con una solución de soda cáustica al 2,5 a 3% a una temperatura de 75 a 80°C, para la disolución de partículas. Los restos aún remanentes (heces y material de lodos) son evacuados y el filtro es enjuagado minuciosamente con agua.

Arranque al inicio de una nueva semana de cocimientos:

Al inicio de la nueva semana de cocimientos, el filtro debe ser precalentado y debería ser neutralizado con una solución levemente ácida. Es llamativo, que al final de una semana de cocimientos, la parte exterior del filtro está escasamente tibia y que el filtro irradia poco calor.

La vida útil de las telas filtrantes se indica con 2000 a 3500 cocimientos (en cerveza clara tipo Lager).

3.3.4.2.2 Filtro de templa Ziemann

El filtro de templa de la empresa Ziemann, Ludwigsburg (Alemania) tiene una forma de operación similar a la del filtro de templa de la empresa Meura (alternadamente marcos y placas). Las placas de cámara también son de polipropileno y están colgadas en un bastidor de prensa, el cual está equipado con una mecánica de alta capacidad, posibilitando tiempos muertos extremadamente cortos para apertura, evacuación de heces y cierre. Después de cada cocimiento, las telas filtrantes son limpiadas a fondo, por medio de un dispositivo limpiador y rociador de telas, que trabaja de forma automática. También en este filtro las heces son exprimidas por membranas móviles, accionadas con aire comprimido, obteniéndose así extracto adicional.

A través de un tubo ascendente se asegura que el mosto, respectivamente las coladas secundarias, mantengan todo el filtro siempre lleno. El exprimido de las últimas coladas secundarias se realiza introduciendo aire comprimido, a través de tubos flexibles, en las cámaras. Este aire comprimido extrae, por presión, el mosto de las heces.

3.3.4.2.3 Filtro de templa Lambda (Landaluce)

En el filtro Lambda (λ-Filter) de la empresa Landaluce, Requejada (Cantabria), España (Figura 3.65), no existe la alternación usual entre marco y placas, sino que sólo se inter-



Figura 3.65
Filtro de templa de nuevo diseño
Filtro tipo Lambda
(Empresa Landaluce, Requejada [Cantabria], España)

calan, alternadamente una tras otra, placas homogéneas de polipropileno de los tipos 1 y 2 (Figura 3.65b).

Para el suministro de templa (Figura 3.65a; a), estos filtros tienen sendos canales encima y debajo de las placas, cada uno de los cuales tiene acceso a cada placa y llena así con templa todos los espacios vacíos entre las placas (Figura 3.65b, 3). Sobre las placas, se encuentran a ambos lados telas filtrantes de material sintético (4) –embutidas a presión en los bordes–, a través de las cuales se filtra el mosto, en tanto que las heces quedan retenidas en los espacios vacíos (3). Estos sistemas de filtración no utilizan membranas de material sintético y con ello desisten de un posible exprimido de las heces.

Secuencia de operación con el filtro Lambda (Figura 3.65c)

Llenado y descarga del primer mosto (a)

La templa es introducida en cada placa, a través del canal ubicado debajo el filtro; el aire abandona el filtro a través de los canales ubicados encima de este último. Tan pronto como la templa ha llenado la cámara, se introduce bombeando también templa por arriba (1). El primer mosto fluye a través de la tela filtrante adyacente y es descargado, por arriba o por abajo, a través del canal lateral (3). También en este filtro hay que cuidar de que todas las cámaras estén llenas hasta arriba con heces,

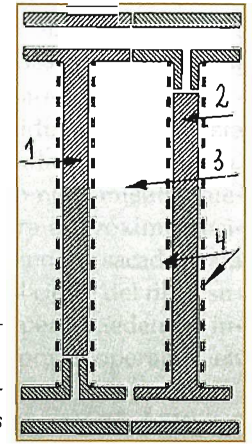


Figura 3.65b
(1) placa de filtración tipo 1,
(2) placa de filtración tipo 2,
(3) espacio vacío para la recepción de las heces,
(4) telas filtrantes de material sintético, ajustadas

Figura 3.65a
Secuencia de operación en el filtro Lambda
(a) introducción de la templa por bombeo y descarga del primer mosto
(b) riego y descarga de las coladas secundarias
Water = agua; Wort = mosto
(Landaluce, Requejada; Cantabria/Esp.)

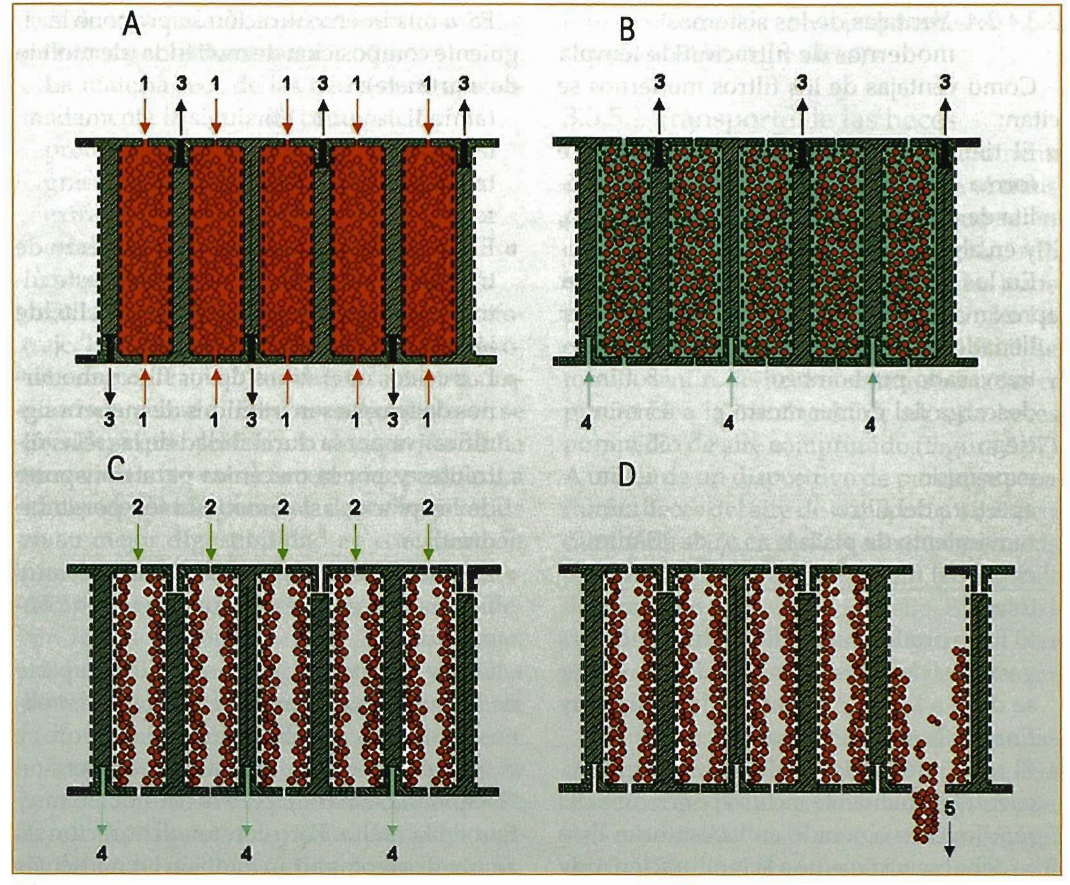


Figura 3.65c
Secuencia de operación con el filtro Lambda
(a) llenado y descarga del primer mosto, (b) riego, (c) desagüe a presión, (d) evacuación de heces

porque de lo contrario el agua puede escurrirse sin ser aprovechada en el riego que sigue.

Riego (b)

Para el riego, el agua correspondiente es introducida, en cada segunda placa, en los canales laterales superpuestos correspondientes a una de las caras (4). El agua pasa a través de las heces y les extrae los azúcares progresivamente por lavado; las coladas secundarias se escurren por arriba y por abajo, por las placas intermedias (3). Luego, se invierte el sentido de flujo y se introduce el agua por las placas intermedias y se escurren las coladas secundarias a través de las otras placas. De esta manera, se logra una buena extracción del azúcar, por lavado, de las heces.

Desagüe a presión (c)

Posteriormente, se inyecta, a través del canal ubicado encima de las placas (2) aire comprimido, que exprime de las heces las coladas secundarias residuales (4), secando ampliamente las heces.

Evacuación de las heces (d)

Finalmente, las cámaras son abiertas y las heces pueden caer fuera del filtro (5).

3.3.4.2.4 Ventajas de los sistemas modernos de filtración de templa

Como ventajas de los filtros modernos se citan:

- El tiempo de filtración se encuentra de forma confiable en las dos horas y posibilita de esta manera 12 cocimientos por día, y en algunos casos también más.

En los filtros modernos se debe calcular aproximadamente con los siguientes tiempos:

llenado del filtro	8 min
trasvasado por bombeo	3 min
descarga del primer mosto	15 min
riego	65 min
exprimido	6 min
apertura del filtro	1 min
movimiento de placas	13 min
cierre del filtro	1 min
total	111 min

- El filtro produce una calidad de mosto clara y valores de turbidez muy reducidos. Esto se debe a las telas filtrantes de malla muy fina y a la molienda fina.
- El rendimiento de la sala de cocción se encuentra actualmente incluso por encima del rendimiento obtenido en laboratorio. Esto se debe esencialmente a la molturación muy fina y a la extracción intensiva del azúcar, por lavado, de las heces. El rendimiento y el tiempo de filtración son influidos de forma importante por la calidad de la malta.
- Debido a la introducción de la templa por abajo, es mínima la absorción de oxígeno.
- Para la molturación se utilizan molinos de martinete, dado que se puede prescindir de las cáscaras como material filtrante. La composición de la molienda es también aquí la clave del éxito, en lo referente a un elevado rendimiento. Algunas fábricas de cerveza molturan la malta en un molino convencional, para obtener una molienda con una fracción de harina de aproximadamente 50%. Posteriormente separan las cáscaras y las molturan por medio de un molino de martinete.

Para una buena filtración se propone la siguiente composición de molienda (de molino de martinete):

tamiz 1	< 1%
tamiz 2+3	< 9%
tamiz 4+5	> 55%
fondo	> 35%

- El filtro es fácil de operar y el esfuerzo de trabajo es reducido. Sin embargo, este último depende de la calidad y, con ello, de la vida útil de las telas filtrantes.
- Los costos operativos de los filtros modernos de templa son influidos de manera significativa por la durabilidad de las telas filtrantes y por la mecánica para transporte de las placas, así como también por la hidráulica.
- El gasto de energía para la trituración muy fina es mayor que en la molturación convencional.

Desde tiempos recientes se utilizan, aparte de los molinos por martinete, también molinos trituradores de malta húmeda (Meura) y el proceso de maceración por dispersión "Dispax" (Ziemann), para la trituración muy fina de la malta. Pero con una trituración en aumento se compactan también las partículas y dificultan con ello el exprimido de las heces compactadas.

Sin embargo, tampoco debe olvidarse que las cubas modernas de filtración también posibilitan realizar 12 cocimientos diarios y que el esfuerzo de trabajo con éstas también es reducido, dado que ya nadie tiene que entrar a la cuba. Con esto se reduce notablemente la ventaja del filtro de templa con respecto a la cuba de filtración.

Por lo general, las ventajas del filtro de templa llegan a ser eficaces más bien en grandes fábricas de cerveza.

3.3.5 Heces (Afrecho)

En la descarga de heces, se obtienen aproximadamente 100 a 130 kg de heces con un contenido de agua del 70 al 80%, a partir de

1 dt de molienda. Esto representa 21 a 22 kg de heces por hl de cerveza.

La materia seca de las heces tiene aproximadamente la siguiente composición:

proteínas	28,0%
grasa	8,2%
extractos libres de nitrógeno	41,0%
celulosa	17,5%
minerales	5,3%

En lo posible, las heces se venden como forraje. El valor nutritivo de las heces es aproximadamente un quinto del de la misma cantidad de cebada. Esto es entendible si se considera que, debido a la maceración, se ha removido tanto extracto como fue posible. La ventaja de los componentes de las heces reside en su mejor digestibilidad en comparación con el material original.

Las heces no contienen vitaminas y no deben ser dadas como forraje exclusivamente. Las heces contienen todavía azúcar y mucha proteína. Consecuentemente, pueden agriarse fácilmente en épocas calurosas.

Pero no siempre y en todos los lugares de la vecindad agrícola existe una demanda de heces. Por ello, se debe tratar de deshacerse de éstas de manera rápida y satisfactoria. Existen para esto compradores suprarregionales de heces, que procesan o secan las heces sobrantes. Las heces son procesadas a ensilado para la conservación, también por granjeros. Otra posibilidad es el secado y quemado de las heces para obtener energía; para esto se ofrecen los correspondientes equipos (empresa Flottweg y otras).

3.3.5.1 Transporte de las heces

Las heces húmedas caen del compartimento de descarga de la cuba de filtración al transportador de heces (Figura 3.66), que se encuentra debajo de la cuba de filtración. Allí, un transportador por tornillo sinfín las transporta hacia la salida. En este proceso, las heces son comprimidas levemente. Al final del tornillo sinfín, las heces son transportadas en porciones a la instalación de silos de heces, por medio de aire comprimido (Figura 3.67). A través de un dispositivo de purga, se separan las heces del aire de transporte. Las heces caen hacia abajo en el silo y son transportadas, por medio de un tornillo sinfín, al vehículo de remoción preparado para ello. El dispositivo de remoción está protegido contra congelamiento. Se pesa la cantidad de heces entregada.

Si las heces no pueden ser vendidas inmediatamente, deben ser secadas. Para esto, existen secadores de heces, en los cuales éstas pueden ser secadas hasta un contenido de agua de 10 a 12%. Las heces son transportadas aquí, por medio de un tornillo sinfín transportador, a la sección de compactación, que consiste de un sinfín prensador cónico con camisa tamizante punzonada. Las heces escurridas son movidas luego al secador y salen de éste a través de una esclusa de rueda celular. El con-

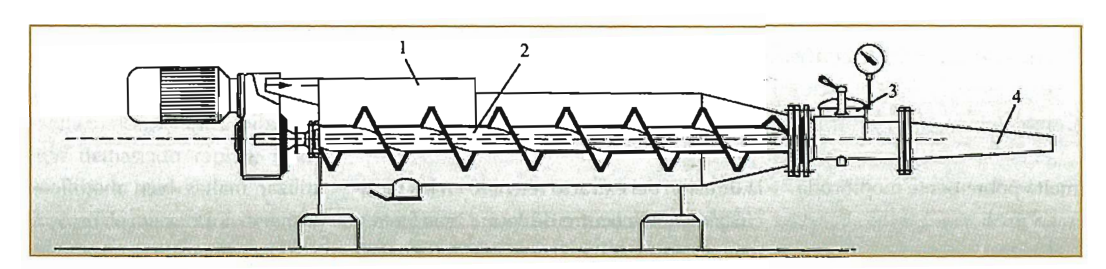


Figura 3.66: Transporte de heces
(1) recepción de las heces, (2) sinfín transportador de heces, (3) válvula de retención, (4) tubería al silo de heces

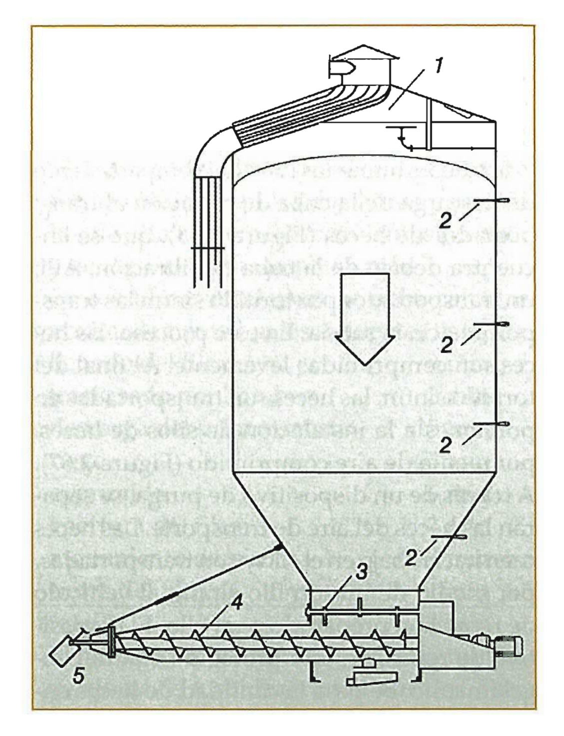


Figura 3.67
Silo de heces
(1) entrada de heces, (2) indicador de nivel, (3) sinfín de paletas para impedir la formación de puentes, (4) sinfín transportador de heces, (5) salida de heces

sumo de vapor es de 1,25 1,36 kg/kg de evaporación de agua. Por lo tanto, el secado sólo tiene sentido si las heces secadas se pueden vender a 4 a 5 veces el precio de las heces sin secar.

Consecuentemente, la mayoría de las plantas no posee una instalación de secado de heces, sino que tratan de vender sus heces a los granjeros vecinos o a una planta procesadora de forraje. Pero esto es cada vez más difícil.

3.3.5.2 Análisis de heces

El análisis de las heces suministra un cuadro muy preciso sobre la cantidad de extractos aún contenida en las heces. El extracto total de las heces está compuesto por el extracto extraíble por lavado y el extracto desintegrable. El extracto extraíble por lavado (extracto soluble) se determina generalmente del líquido exprimido de las heces, el extracto total se obtiene por cocción de las heces y posterior desintegración enzimática.

La diferencia entre el extracto total y el extracto extraíble por lavado representa el extracto desintegrable.

De los resultados se pueden sacar conclusiones respecto del trabajo en la sala de cocción.

3.3.5.2.1 Extracto extraíble por lavado

El extracto extraíble por lavado o soluble se determina por el método rápido de exprimir las heces con exprimidor manual, filtración a través de un filtro de papel plegado y utilización de un densímetro.

El extracto extraíble por lavado se indica con porcentajes y normalmente es de aproximadamente 0,8 % másico.

Causas de un elevado contenido de extracto soluble

Causa	Efecto	Remedio
malta pobremente modificada	la difusión del extracto retenido en las partículas de heces ocurre de forma más lenta y menos completa que con malta bien modificada	utilizar maltas bien modificadas
molienda demasiado fina	la molienda se hace pastosa y la torta de heces es más dificultosa de enjuagar	moler más grueso

tiempo de filtración demasiado breve	el extracto retenido en las heces no puede difundir al agua de riego en suficiente cantidad en el tiempo disponible	riego suficientemente prolongado, varias coladas secundarias pequeñas enjuagan mejor que un riego continuo
depósito desigual de la templa	debido a la diferente altura de heces en la cuba de filtración, es irregular la eficiencia de lavado de las partículas, para extracción de azúcar	depositar la templa de manera uniforme en la cuba de filtración, por medio de una mejor distribución con el dispositivo de rastrillo
compactación de las heces	las fracciones de heces compactadas ya no son enjuagadas (islas de extracto)	reducir el flujo a través de los grifos de filtración, para prevenir una succión; utilizar un manómetro de filtración
purga insuficiente	el espacio debajo del fondo falso puede llenarse parcialmente con la masa de fondo, teniendo como consecuencia una descarga no uniforme del mosto	abrir totalmente las válvulas de filtración durante la purga
concentración demasiado baja del primer mosto	no se puede disponer de suficiente agua de riego para este último	mayor concentración de primer mosto (18 a 20%); es necesaria una relación de volúmenes primer mosto: colada secundaria 1:1 a 1:1,2
filtración demasiado fría del mosto	por enfriamiento de la cuba de filtración o por agua de riego demasiado fría disminuye la extracción por enjuague de las heces, porque éstas se compactan	la temperatura debe mantenerse durante todo el proceso de filtración lo más cerca posible de 78°C; la cuba debe ser aislada contra enfriamiento
llenado no uniforme e insuficiente de las cámaras del filtro	en el caso de un llenado demasiado lento o demasiado rápido, las cámaras del filtro no se llenan uniformemente	la carga debe ser adecuada a la cantidad y al tamaño de los marcos; el llenado del filtro debe ser realizado uniformemente; la presión debe aumentar sólo lentamente
malta pobremente modificada	las partes interiores no son bien accesibles para las enzimas	utilizar maltas bien modificadas
ajuste incorrecto del molino triturador de malta, cojinetes y rodillos desgastados, molturación demasiado rápida, malta demasiado húmeda	molienda demasiado gruesa	modificar el ajuste del molino triturador de malta, rectificar los rodillos, molturar más lento
proceso de maceración demasiado breve o inadecuado	desintegración insuficiente de los componentes de la malta y de los adjuntos	macerar durante más tiempo y más intensivamente; cocer la templa hervida durante más tiempo, cocer más templa espesa, molturar más fino

3

3.3.5.2.2 Extracto desintegrable (análisis de laboratorio)

Aparte del extracto soluble, hay todavía substancias en las heces, que son pasibles de ser degradadas, pero que no entraron en solución durante la maceración. Estas substancias son llamadas extracto desintegrable. Para esto se maceran 25 g de heces secas molidas con adición de determinados preparados enzimáticos, se las cuece durante 15 min y se macera luego con adición de enzimas según el proceso de maceración de laboratorio (maceración congreso).

Con este proceso se obtiene el
extracto total, que es 1,3 a 1,8%.
De la diferencia
extracto total - extracto soluble
resulta el extracto desintegrable.

El extracto desintegrable es normalmente 0,8%. Permite importantes conclusiones respecto del trabajo en la sala de cocción, antes de la filtración del mosto.

3.3.5.2.3 Relación entre el contenido de extracto de las heces y la malta utilizada

El extracto soluble y desintegrable que queda en las heces está perdido para el mosto y reduce el rendimiento en la sala de cocción. Para tener una indicación precisa respecto del rendimiento, se convierte a malta, por cálculo, el contenido de extracto de las heces y se obtiene la pérdida en kg por cada 100kg de malta. Normalmente se pierden 1,1 a 2,5 kg de extracto por cada 100 kg de malta.

3.4 Cocción del mosto

El mosto obtenido se cuece durante 50 (hasta 60) minutos. Durante ese tiempo se agrega el lúpulo.

Durante la cocción del mosto pasan a éste componentes amargos y aromáticos del lúpulo y al mismo tiempo se precipitan substancias albuminoideas.

La cocción del mosto ocurre en la paila de mosto, que está equipada con todo lo necesario para la cocción. Cuando todo el cocimiento se encuentra en la paila de mosto, se habla del mosto de paila llena. El producto final de la cocción del mosto es llamado mosto caliente o mosto al bombear.

3.4.1 Procesos en la cocción del mosto

Durante la cocción del mosto ocurre una serie de procesos, que son de importancia para nosotros:

- disolución y transformación de componentes de lúpulo,
- formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles,
- evaporación de agua,
- esterilización del mosto,
- destrucción de todas las enzimas,
- carga térmica del mosto,
- reducción del valor pH del mosto,
- formación de substancias reductoras, y
- evaporación de substancias aromáticas indeseadas.

3.4.1.1 Disolución y transformación de componentes de lúpulo

De los componentes del lúpulo, son importantes para la fabricación de cerveza:

- las resinas de lúpulo o los compuestos amargos del lúpulo,
- la esencia de lúpulo,
- los taninos de lúpulo.

Las resinas de lúpulo o compuestos amargos son los componentes más importantes del lúpulo para la fabricación de cerveza, porque le otorgan el sabor amargo.
Los α-ácidos son completamente insolubles en mosto frío. En el mosto en cocción ocurren cambios en la estructura de los α-ácidos denominados isomerización. Los compuestos iso que se forman son mucho más solubles que los α-ácidos a partir de los cuales han sido formados.

La isomerización de los α-ácidos durante la cocción de ninguna manera es completa. En promedio, sólo un tercio de los α-ácidos agregados con el lúpulo se encuentra en el mosto cocido en forma de compuestos iso. También en el ulterior desarrollo de la fabricación de cerveza se separan substanciales cantidades de compuestos amargos. Se puede calcular con que, de la cantidad disuelta durante la cocción, quedan:

	Cantidad de compuestos amargos	con un valor relativo de amargor de
en la heces de lúpulo	20%	7%
en el trub	50%	18%
en la capa y la levadura	10%	25%
la cerveza	20%	50%

El rendimiento de isohumulona en la cocción y consecuentemente el amargor de la cerveza dependen esencialmente de

1. la naturaleza de la isohumulona: los diferentes componentes de los α-ácidos son isomerizados con diferente intensidad; la cohumulona da los mejores rendimientos de isohumulona. Por medio de la utilización de variedades de lúpulo con una mayor porción de cohumulona (por ejemplo, Northern Brewer) se obtiene un mayor amargor en la cerveza.
2. la duración de la cocción: con duración creciente de la cocción, aumenta el rendimiento de isohumulona. La mayor parte de los α-ácidos es isomerizada al inicio de la cocción, creciendo el rendimiento cada vez más lentamente, a medida que aumenta la duración de la cocción. Después de 1 h de cocción, la mayor parte de los compuestos amargos está isomerizada.
3. el valor pH: un valor pH más alto da siempre una mejor isomerización, pero el amargor obtenido a un valor pH más bajo siempre es considerado más balanceado y más fino.
4. la concentración de la humulona: con adición creciente de lúpulo disminuye el rendimiento de isohumulona. Sin embargo, la disminución se mueve en un rango pequeño (hasta 10%).
5. la precipitación de isohumulonas con el trub de cocción: una parte considerable de la isohumulona es absorbida por el trub de cocción.
6. la intensificación de la isomerización, por ejemplo con ayuda de una mayor temperatura de cocción.
7. el grado de trituración del lúpulo: la trituración incrementa la velocidad de extracción y con ello el rendimiento de los compuestos amargos (ver también fabricación de pellets y extracto).

La esencia de lúpulo es volátil durante la cocción de mosto, tanto más, cuanto más se lo cuece. Hemos visto (Sección 1.4.4.2) que las diferentes esencias de lúpulo huelen de manera muy diferentemente fuerte y agradable. Por ello, dependiendo del tipo de cerveza, se está interesado en retener la mejor esencia de lúpulo en el mosto y consecuentemente en la cerveza, al menos parcialmente. Para este propósito, algunas fábricas de cerveza agregan el lúpulo con el mejor aroma –el lúpulo aromático– recién 15 a 20 min antes del bombeo del mosto caliente, a los efectos de retener al menos una parte de la mejor esencia de lúpulo, si ello es considerado importante.

Los polifenoles del lúpulo son solubles en agua y entran inmediatamente en solución. A estos polifenoles de lúpulo pertenecen los antocianógenos, los taninos y las catequinas. Tienen una participación esencial en la floculación (ver Sección siguiente).

En el desarrollo ulterior de la fabricación de cerveza polimerizan los polifenoles, en especial los antocianógenos, con intensidad creciente, pudiendo poner en peligro la estabilidad de la cerveza. Los polifenoles contribuyen al cuerpo y al amargor de la cerveza. Sin embargo, el amargor de los polifenoles no es muy deseado.

3

3.4.1.2 Formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles

Las proteínas (substancias albuminoideas) se encargan en la cerveza de la espuma y de la formación de turbidez, pero también de la nutrición de la levadura. Dado que las proteínas tienen una muy gran afinidad (tendencia a la formación de compuestos) con los polifenoles (taninos), se debe considerar este complejo en forma conjunta. En los últimos años, han aparecido nuevos aspectos en la consideración de la importancia de la precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles. Éstos han sido introducidos en nuevas tecnologías.

Primeramente, el punto de vista tradicional:

Los taninos del lúpulo y de la malta se disuelven completamente en el mosto y se combinan con las substancias albuminoideas complejas del mosto. Los taninos de la malta tienen aquí una inercia de reacción algo mayor que los del lúpulo. Dado que los taninos se encuentran parcialmente en forma oxidada y que las substancias albuminoideas tienen diferentes tamaños moleculares, resultan diferentes compuestos con propiedades diferentes:

1. ***Los compuestos de proteínas y taninos y los compuestos de substancias albuminoideas y tanino oxidado son insolubles en el calor y precipitan en la cocción como trub de cocción.***
   Se conoce como trub de cocción a los flóculos formados en el mosto durante la cocción. Se está interesado en precipitar, en lo posible totalmente, estos compuestos.

La precipitación es favorecida por

a) mayor duración de cocción; en una cocción de dos horas, estos compuestos son precipitados ampliamente. Pero hoy en día casi ninguna fábrica de cerveza cuece durante tanto tiempo.
La duración necesaria de cocción para la precipitación de proteínas disminuye con el aumento de presión y consecuentemente con mayor temperatura. A una temperatura de 140°C son necesarios por ejemplo ya sólo 3 a 5 min para la formación de flóculos.

b) movimiento intensivo del mosto en cocción; de esta manera se mejora la reacción entre las substancias albuminoideas y los polifenoles.

c) un bajo valor pH (el valor pH óptimo para la formación de flóculos se encuentra en 5,2). Es por ello, que es de interés disminuir el valor pH antes de la cocción del mosto.

Tradicionalmente se examina el trub de cocción al final de la cocción del mosto, a través de una mirilla: un trub de cocción con flóculos, en lo posible grandes, debe nadar entonces en un mosto "brillantemente" claro y sedimenta formando un cono. Por experiencia, se pueden sacar conclusiones respecto de la precipitación de proteínas, a partir de la floculencia grosera del trub de cocción.

2. ***Algunos compuestos de productos de degradación de proteínas y de taninos permanecen en solución durante la cocción del mosto y precipitan recién durante el enfriamiento del mosto como trub en frío*** (ver Sección 3.9.1.2).
   A pesar de la cocción prolongada, queda en solución una reducida cantidad de substancias de alto peso molecular, aun coagulables y que contienen nitrógeno (<2 mg de nitrógeno coagulable por cada 100 ml de mosto = 20 mg/l, determinados después de cinco horas de cocción intensiva).

De acuerdo con esto, el punto de vista tradicional era cocer el mosto intensivamente durante el mayor tiempo posible. Esto inevitablemente conllevaba una elevada evaporación (hasta 15%) y un gran consumo de energía.

Hoy en día se considera desde otro punto de vista la importancia de la precipitación de las substancias albuminoideas de alto peso molecular, como formadoras potenciales de espuma. Se está hoy en día cada vez más interesado en no precipitar todas las proteínas coagulables, sino en mantenerlas para una mejor retención de la espuma.

¡Los procesos modernos de cocción de mosto evitan por ello una cocción prolongada e intensiva! Con esto, permanecen en solución en el mosto las substancias albuminoideas de alto peso molecular que precipitarían por la cocción más prolongada y más intensiva, permitiendo esperar una mejor retención de la espuma. Sin embargo, ésta es compensada por un mayor riesgo de turbidez, que puede prevenirse con medios adecuados (ver Sección 4.6.2.3).

El mosto caliente (clarificado) contiene aproximadamente 1000 mg de nitrógeno total/l. De éstos corresponden aproximadamente 200 mg/l (150 - 350 mg/l) a nitrógeno precipitable con sulfato de magnesio ($MgSO_4$-N). Con este método se cubren los componentes proteicos de alto peso molecular. Existe una relación entre el $MgSO_4$-N y la espuma de la cerveza. Un mayor valor de $MgSO_4$-N permite esperar una mejor retención de la espuma.

Aparte de esto, se determina en el mosto caliente el aminonitrógeno libre (FAN), a través del cual se cubren los aminoácidos y los grupos amino terminales de los péptidos y proteínas. Para una fermentación satisfactoria se requieren 220 a 250 mg de aminonitrógeno libre por litro en el mosto caliente. Dado que la levadura no puede utilizar todos los aminoácidos, permanecen todavía en la cerveza 100 a 120 mg de FAN por litro.

Reduciendo la duración de la cocción queda más nitrógeno coagulable en el mosto, permitiendo esperar una mejor retención de la espuma. Son deseables 20 a 30 mg de nitrógeno coagulable/litro de mosto frío.

Pero hay otros motivos para una cocción cuidadosa: una cocción cuidadosa a bajas temperaturas trae una menor posformación de substancias importantes para el envejecimiento. Por eso, una cocción cuidadosa tiene efectos positivos sobre componentes valiosos.

3.4.1.3 Evaporación de agua

La evaporación de agua es el resultado de un proceso de cocción intensivo. Éste era deseado, porque se podía esperar una buena precipitación de proteínas (floculación) debido al movimiento intensivo del contenido de la paila.

Por eso, una elevada cuota de evaporación era, hasta hace pocos años, una medida de calidad de una paila de mosto y una paila con una cuota de evaporación del 10 al 15% de la cantidad de mosto era considerada como una paila de alto rendimiento. Entretanto, esto ha cambiado, tal como veremos. Hoy en día los esfuerzos tienden a lograr cuotas de evaporación del 4% con buena eficiencia de evaporación.

Una medida de la evaporación es la cantidad de agua evaporada durante el tiempo de cocción (evaporación total).

La evaporación total indica qué porcentaje de la cantidad de mosto de paila se ha evaporado.

Ejemplo:

En la paila de mosto están componentes 360 hl con la paila llena y 339 hl al bombear el mosto caliente. ¿Cuánto ha sido la evaporación?

mosto de paila llena	360 hl
mosto caliente	339 hl
cantidad de agua evaporada	21 hl

360 hl de mosto de paila llena = 100%
21 hl de cantidad evaporada = X%

$$X = \frac{21\ hl \cdot 100\%}{360\ hl} = 5{,}83\%$$

La evaporación (evaporación total) es 5,83%.

3

La evaporación de agua cuesta energía y la energía cuesta mucho dinero.

Consecuentemente, se está interesado en

- no cocer durante más tiempo que lo necesario,
- no evaporar innecesariamente mucho agua, y
- en lo posible, recuperar una parte de la energía utilizada.

Pero la evaporación de agua tiene otro aspecto muy importante:

Cuanto más se evapora, tanto más se ha podido regar antes. Es decir, que una evaporación intensiva contribuye simultáneamente a un aumento del rendimiento. Pero no vale la pena cocer, por un aumento del rendimiento, durante tanto tiempo y tan intensivamente, dado que los costos necesarios de energía son substancialmente mayores que la ganancia en extracto.

Dado que sólo se evapora agua, debe crecer el contenido de extracto en el mosto. En correspondencia con la evaporación diferentemente intensiva en las diferentes pailas, el valor depende del proceso utilizado en planta. Crece con el porcentaje de evaporación, pudiendo ser el incremento del contenido de extracto mayor que el 2%, desde el mosto de paila llena hasta el mosto caliente.

En la filtración del mosto (ver Figura 3.45) hemos visto que el contenido de extracto del primer mosto debía ser 5 a 6 % mayor que el mosto de paila llena, porque se produce una importante dilución, debido al riego. Ahora el contenido de extracto aumenta, debido a la evaporación. Por ello, el mosto caliente (Figura 3.67b, 3) tiene nuevamente una mayor concentración. La concentración del mosto al inicio de la fermentación (4) está determinada, tal como la del mosto original (5), por la especificación de planta para la correspondiente variedad de cerveza. Pero debe tenerse en cuenta en esto que durante el enfriamiento todavía ocurre un cambio en la concentración. Este cambio es específico del proceso en planta. Antaño, durante el enfriamiento abierto, todavía se evaporaba mucha agua. Por evaporación aumenta el contenido de extracto; por adición de agua de riego, por ejemplo sobre las heces de lúpulo, etcétera, disminuye. Hoy en día ya no se evapora nada y la concentración

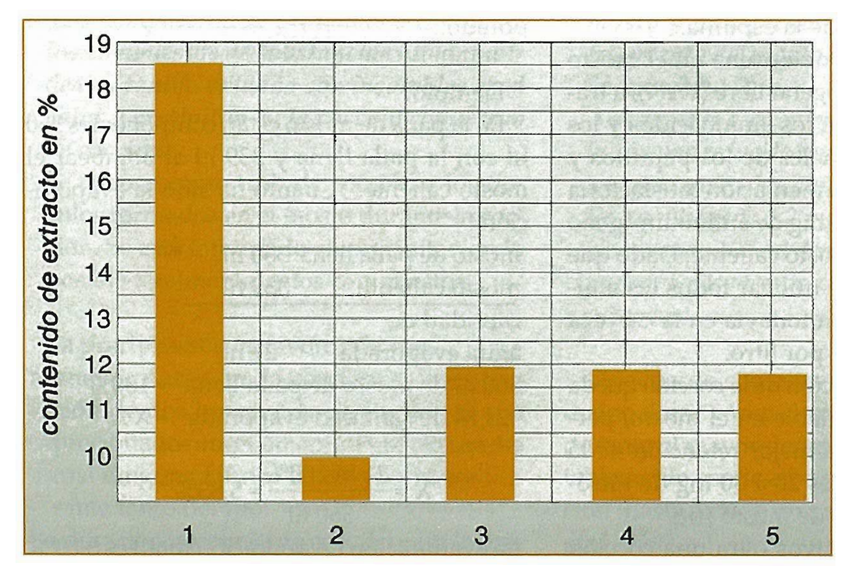


Figura 3.67b
Cambios en el contenido de extracto desde el primer mosto hasta el mosto original
(1) primer mosto,
(2) mosto de paila llena,
(3) mosto caliente,
(4) mosto al inicio de la fermentación,
(5) mosto original - se lo determina de la cerveza terminada
(ver Sección 7.4.3.1)

diminuye insignificantemente.

Por eso, el contenido de extracto debe estar ajustado al final de la cocción del mosto de manera tal que ni los cambios debidos al enfriamiento del mosto ni diluciones ulteriores de la cerveza, debidas a mezclas iniciales o finales durante la filtración, puedan producir concentraciones menores que la deseada para el mosto original. Se realizan esfuerzos para no quedar debajo del contenido de mosto original exigido, permitiéndose en esto una diferencia de 0,1 a 0,3% como margen, según el proceso utilizado en planta. Es por eso que el control del contenido de extracto es una tarea muy importante para el encargado de la sala de cocción. Posteriormente, es muy difícil de corregir.

3.4.1.4 Esterilización del mosto

Con el polvo de malta entraron muchas bacterias y mohos a la templa, los cuales, si no son destruidos, ponen agria la cerveza o pueden modificar su sabor. Durante la cocción del mosto son destruidos todos los microorganismos componentes en el mismo y se lo esteriliza. Esta es la última vez que trabajamos con un producto esterilizado ¡A partir de este momento es necesario tomar las mayores precauciones biológicas!

3.4.1.5 Destrucción de todas las enzimas

Debido a la cocción del mosto se destruyen totalmente las pocas enzimas todavía presentes. A causa de ello, ya no es posible una ulterior modificación descontrolada de la composición del mosto. Si son necesarias modificaciones ulteriores, por ejemplo si el mosto caliente tiene enturbiamiento de almidón o si se fabrica cerveza dietética para personas diabéticas (ver Sección 7.3.2), se debe agregar más tarde infusión de malta o primer mosto, a los efectos de degradar totalmente el almidón hasta el estado de reacción normal al yodo o hasta azúcares fermentables.

3.4.1.6 Carga térmica del mosto

Debido a la cocción se forman otros productos Maillard y aldehídos de Strecker, se oxidan taninos y se continúa incrementando con esto la carga térmica del mosto; el mosto oscurece progresivamente. La carga térmica, expresada en el coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ), aumenta con el incremento de la duración de cocción y aun durante el reposo en el Whirlpool (Figura 3.67c). Sin embargo, dado que el TBZ representa al mismo tiempo una medida de valor para la estabili-

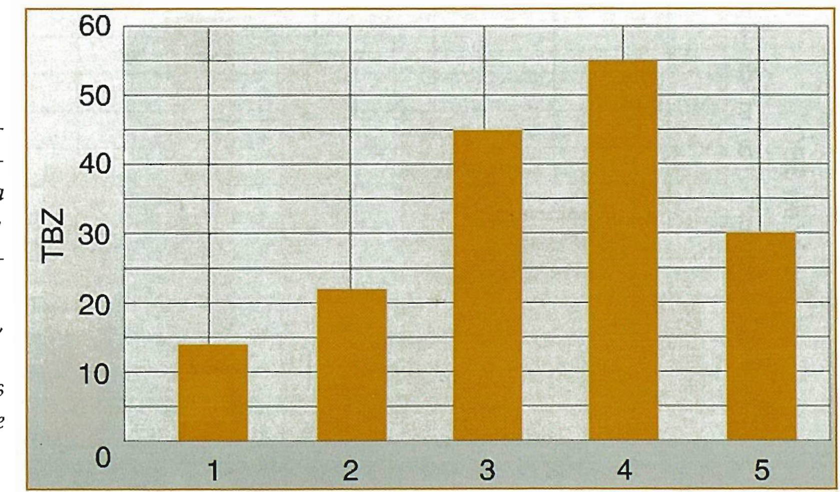


Figura 3.67c
Variación del coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ) desde la malta hasta la cerveza
(1) malta (mosto congreso),
(2) mosto de paila llena,
(3) mosto caliente,
(4) mosto frío, después del refrigerador de mosto,
(5) cerveza

dad de sabor de la cerveza, es deseable no cocer durante demasiado tiempo e intensivamente.

Por este motivo, los procesos modernos de cocción de mosto minimizan la carga térmica. El TBZ del mosto antes del inicio de la cocción (mosto de paila llena) se encuentra aproximadamente en 22 y se incrementa de forma substancial durante la cocción. El TBZ del mosto caliente debe encontrarse por debajo de 45 y el del mosto frío, después del refrigerador de mosto, debajo de 60. El TBZ disminuye nuevamente durante la fermentación y la maduración a aproximadamente 30. Pero este valor depende del valor pico alcanzado previamente, el cual debe ser mantenido lo más reducido posible. Por ello, se habla también de un TBZ temporal.

Pero el valor esencial de partida está representado por el TBZ de la malta (expresado en el mosto congreso). Por ello, es deseable mantener reducido el TBZ de la malta (< 14).

3.4.1.7 Descenso del valor pH en el mosto

El mosto se acidifica levemente, por ser ácidas las melanoidinas formadas durante la cocción y porque el lúpulo también contribuye con algo de ácido.

El valor pH en la paila llena es, sin adificación de la templa, aproximadamente 5,5 a 5,6.
El valor pH al bombear el mosto caliente es aproximadamente 5,4 a 5,5.

Muchos procesos importantes se desarrollan mejor o más rápidamente con un valor pH más reducido. Éstos incluyen en la cocción del mosto

- buena precipitación de los compuestos formados por proteínas y polifenoles durante la cocción del mosto con un valor pH de 5,2,
- reducido aumento de coloración del mosto con bajo valor pH,
- amargor de lúpulo más fino y más noble con bajo valor pH,
- mayor sensibilidad de los microorganismos con bajo valor pH.

Una desventaja del bajo valor pH es el menor aprovechamiento de los compuestos amargos del lúpulo, por lo cual se requiere más lúpulo.

Por ello es preferible acidificar también el mosto a un valor pH de 5,1 a 5,2, poco antes del final de la cocción.

Posibilidades y medidas al respecto, ver Sección 3.2.1.8.

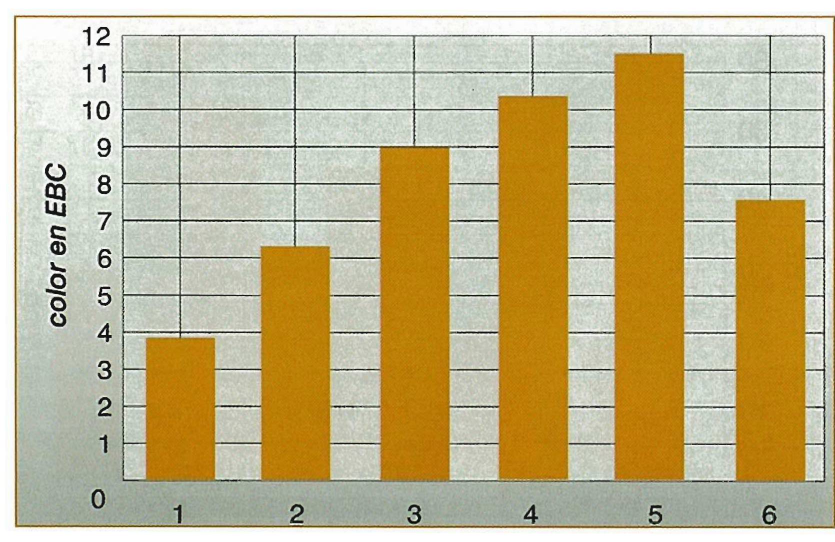


Figura 3.67d Desarrollo del color, desde el mosto hasta la cerveza
(1) color de malta (mosto congreso) 3,9 - 4,2 EBC,
(2) primer mosto 6,3 - 6,6,
(3) mosto de paila llena 8,8 - 9,0,
(4) mosto caliente 8,8 - 10,9,
(5) mosto al inicio de la fermentación 11,5 - 12,0,
(6) cerveza 7,0 - 8,0

3.4.1.8 Formación de substancias reductoras (reductonas)

Durante la cocción del mosto se forman compuestos que pueden reaccionar con el oxígeno del mosto y ejercer así un efecto reductor. Estas substancias se llaman reductonas. Éstas incluyen, por ejemplo, las melanoidinas, cuyo mecanismo de formación ya hemos conocido en el tostado.

Durante la cocción del mosto aumenta la coloración, aclarándose nuevamente recién durante la fermentación (Figura 3.67d).

3.4.1.9 Evaporación de substancias aromáticas indeseadas

En el mosto está contenida una serie de substancias aromáticas más o menos volátiles, que en parte no ejercen una buena influencia sobre el aroma de la cerveza. A los efectos de lograr establecer un perfil aromático óptimo, es necesario quitar del mosto estas substancias aromáticas indeseadas. Estas substancias aromáticas indeseadas incluyen, aparte del sulfuro de dimetilo (DMS), también productos de degradación de grasas, como el hexanal, algunos aldehídos de Strecker, como el 2-metilbutanal, el cual es un indicador de una pobre estabilidad de sabor, y productos Maillard, como el furfural.

Sin embargo, el control principal está dirigido hacia la disociación térmica del precursor del DMS y a la purga del DMS libre, el cual, en caso contrario, puede dejar en la cerveza aromas de sabor a verduras. Hemos visto, ya en el tostado, que se requiere de los malteros una disociación exhaustiva del precursor y una purga del DMS libre, dado que no es posible reparar, durante la cocción en la paila de mosto, una purga insuficiente de DMS causada durante la fabricación de malta. Por este motivo, se espera que el contenido de precursor de DMS en la malta no sea mayor que 5 mg/kg de malta (= 5ppm). Se debe tratar de aquí en adelante de purgar el DMS libre que se forma todavía.

Con el aumento de la duración de cocción se impulsa la disociación térmica del precursor de DMS, la S-metilmetionina (SMM), y se purga el DMS libre. La cantidad principal del DMS libre ya está purgada luego de 30 min de cocción [246] (Figura 3.68). El valor orientativo para el DMS libre se encuentra en < 100 µg/l en la mitad del enfriamiento. En el caso de un acortamiento de la duración de cocción, aparece una posformación de DMS libre después de la finalización de la cocción, si fue insuficiente la disociación térmica del precursor de DMS durante la cocción.

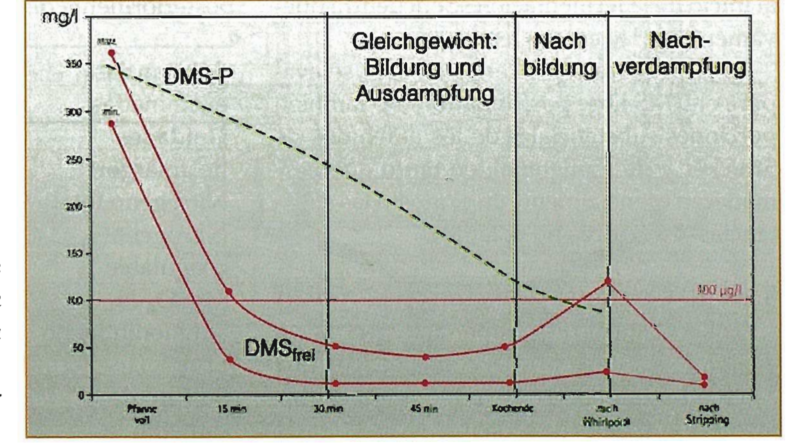


Figura 3.68
Valores máximos y mínimos de DMS libre, durante la cocción del mosto y hasta la mitad del enfriamiento
Línea en trazos: precursor de DMS

3

Por eso, se debe prestar atención a la purga del DMS libre formado posteriormente. Esto es necesario para obtener una buena espuma de cerveza y una buena estabilidad de sabor. Se debe prestar atención, en todos los casos, a que la eficiencia de evaporación sea buena, para evitar sabores atípicos tanto en la cerveza fresca como en la cerveza madura.

Esto se puede lograr utilizando prerrefrigeradores o por medio de stripping. En el caso de utilización de un prerrefrigerador entre el lugar de mosto caliente y el Whirlpool, se debe refrigerar el mosto a aproximadamente 85°C, porque de lo contrario se puede posformar DMS libre por disociación térmica, si se está por encima de esa temperatura.

Para la prerrefrigeración antes del Whirlpool, se utilizan usualmente intercambiadores de calor de placas. Para el stripping después del Whirlpool, se utilizan preponderantemente evaporadores de película, cocederos internos, así como equipos de stripping por vapor y por aire (ver Sección 3.4.2.6). En el stripping se purga el DMS libre posformado durante el reposo en el Whirlpool.

También durante la fermentación se separa todavía DMS libre con los gases de fermentación. Con el aumento de temperatura de fermentación se incrementa el efecto de lavado, pero el cual es retardado por la contrapresión. En lo esencial, el contenido de DMS del mosto al inicio de la fermentación se encuentra nuevamente en la cerveza terminada.

En la evaporación ulterior no sólo se evapora el DMS libre posformado, sino también porciones substanciales de los aldehídos de Strecker y de feniletanal, en tanto que permanecen esencialmente en el mosto las substancias aromáticas no volátiles.

3.4.1.10 Contenido de cinc en el mosto

El oligoelemento más importante en el mosto es el cinc, que debería estar contenido con una cantidad mínima de 0,10 a 0,15 mg/l. El cinc favorece la síntesis de proteínas en la célula de levadura y regula su metabolismo de ácido nucleico y de hidratos de carbono. El cinc es también un elemento constituyente necesario de contacto en la fermentación alcohólica (ver Figura 4.2; la transformación nº 12 ocurre sólo en presencia de Zn). Por ello, en el caso de deficiencia de cinc en el mosto, se pueden también esperar dificultades de fermentación. Sin embargo, se puede asumir que la mayoría de los mostos contienen suficiente cinc. Por ello, en el caso de dificultades de fermentación, se pone atención al contenido de cinc.

3.4.1.11 Mosto de paila llena - Mosto caliente

El inicio de la cocción de mosto está caracterizado por el hecho de que toda la cantidad del cocimiento se encuentra en la paila. Este momento se denomina "paila llena" y el mosto en ese momento "mosto de paila llena". Sin embargo, para el cervecero son más importantes los valores del mosto caliente al final de la cocción del mismo que el mosto de paila llena. Estos valores se indican a continuación [247]:

el contenido de extracto de los mostos calientes es aproximadamente igual al mosto original (ver Figura 3.67b).

el color de los mostos calientes es 8,8 EBC (6,3 - 14,4) en mostos claros y 30,5 EBC en los oscuros (Figura 3,67d, 4). El color se aclara posteriormente de nuevo.

Substancias examinadas	Valor medio	(valores límite) [247]
Unidades de amargor	35 IBU	(14 - 57)
Nitrógeno total	989 mg/l	(799 - 1213)
Nitrógeno coagulable	17 mg/l	(2 - 39)
$MgSO_4$-N	201 mg/l	(158 - 374)
Aminonitrógeno libre	183 mg/l	(139 - 244)
Sulfuro de dimetilo	28 µg/l	(10 - 118)

Substancias examinadas	Valor medio	(valores límite)[247]
Precursor de DMS	48 µg/l	(10 - 123)
TBZ	44	(19 - 58)

Para la calidad de la cerveza, su retención de espuma y su estabilidad de sabor es importante controlar los siguientes factores, dependientes entre sí:

- el contenido de DMS libre no debería exceder 40 a 60 µg/l, y en ningún caso 100 µg/l, el TBZ debería ser 30 a 40, y
- debería haber 20 a 30 mg/l de nitrógeno coagulable, pero como mínimo 14 mg/l.

3.4.2 Diseño y calentamiento de la paila de mosto

El mosto se cuece de forma intensiva en la paila de mosto usualmente durante 60 a 70 min. Es por eso, que la paila de mosto debe estar equipada con un dispositivo de calen tamiento potente. Junto con el cambio en los dispositivos de calentamiento de la paila, cambió con el tiempo también la forma de la paila.

Según el tipo de calentamiento de las pailas, se diferencia entre

- pailas con calentamiento directo por carbón, gas o aceite combustible
- pailas con calentamiento por vapor, y
- pailas con calentamiento por agua caliente.

3.4.2.1 Paila de cocción con calentamiento directo

La forma más antigua de calentamiento de paila es por combustión de carbón. Esta forma de combustión directa debajo del fondo de la paila (Figura 3.69) se encuentra hoy en día muy esporádicamente en salas de cocción antiguas. Debido a la convexidad del fondo de la paila, el mosto en cocción bulle desde el centro hacia afuera. Más tarde, estas pailas fueron frecuentemente cambiadas a calentamiento directo con gas o aceite combustible.

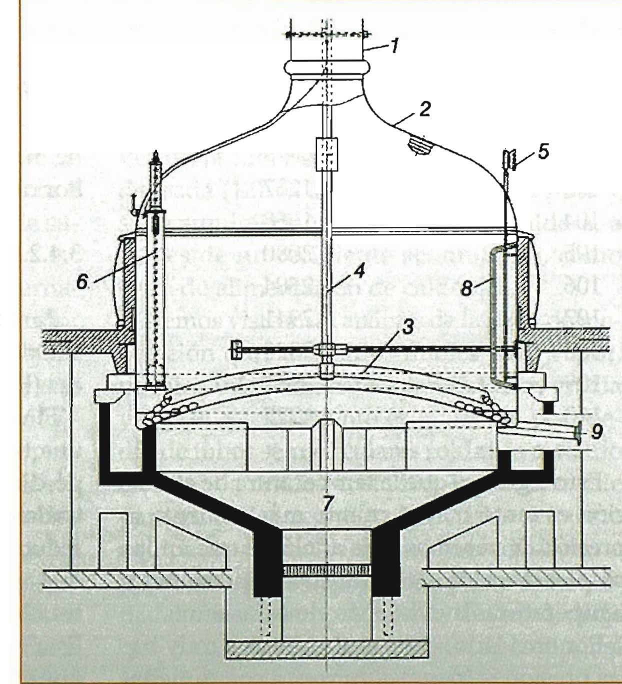


Figura 3.69
Paila con calentamiento directo (paila a fuego)
(1) chimenea,
(2) cubierta de vahos,
(3) agitador con cadenas,
(4) accionamiento de agitador (desde arriba),
(5) termómetro,
(6) regla flotante de medición,
(7) hogar,
(8) entrada,
(9) tubería de bombeo de salida,
(10) humeros

3.4.2.2 Paila de cocción con calentamiento por vapor

Hoy en día, la forma usual de calentamiento de paila es por medio de vapor. Pero para la comprensión del uso del vapor, son necesarias algunas aclaraciones previas.

3.4.2.2.1 Temperatura de vapor y presión

El agua hierve a 100°C y el vapor producido tiene la misma temperatura. Eso lo sabe cualquier niño. Pero esto solamente es válido bajo condiciones atmosféricas. Si aumentamos la presión en el recipiente –por ejemplo cerrándolo, tal como sucede con una olla a presión–, el agua hierve a una temperatura mayor. De esta manera, corresponde siempre a cada temperatura de ebullición = temperatura de vapor, bajo condiciones de saturación, una determinada presión, tal como se muestra en el siguiente extracto de la tabla de vapor de agua (en estado saturado):

Temperatura en °C	Presión de vapor en bar
98	0,9430
99	0,9776
100	1,0133
101	1,0500
102	1,0878
103	1,1267
104	1,1668
105	1,2080
106	1,2504
107	1,2941
108	1,3390
109	1,3852
110	1,4327

Esto significa que la temperatura de ebullición es tanto mayor cuanto más aumenta la presión. Y veremos más adelante que en las plantas de calderas se trabaja con presiones y temperaturas mucho más elevadas aún.

Por otro lado, el agua ya hierve a muy bajas presiones (depresión, vacío) con muy bajas temperaturas. Así, con una

- presión de 0,06 bar, a 36°C
  y con una
- presión de 0,02 bar, a 17°C.

Pero dentro de la paila de mosto se generan temperaturas de ebullición por encima de 100°C, debido a la altura del mosto. Para un nivel de mosto de 2,5 m, esto significa que las partes de mosto en el fondo de la paila se encuentran bajo una sobrepresión de 0,25 bar, lo cual es una presión de vapor de 1,25 bar. Nuestra tabla muestra ahí una temperatura de ebullición de 106°C.

Si la paila de mosto es calentada por su fondo, se forman simultáneamente en todo el fondo pequeñas burbujas de vapor, que ascienden y causan el movimiento del mosto y la expulsión de componentes indeseados.

El vapor ingresa con una presión de 2 a 3 bar (m) (= 133 a 143°C) en la camisa de vapor que cubre el fondo de la paila. El vapor entrega su calor de evaporación al mosto y condensa, en tanto que el mosto entra en ebullición.

Una mayor presión y consecuentemente una mayor temperatura son problemáticas, debido a la mayor temperatura de interfase que habría entonces en el fondo de la paila: existe el riesgo de que se puedan quemar partículas de mosto y que esto tenga efecto sobre el sabor de la cerveza.

3.4.2.2.2 Equipamiento de una paila de cocción por vapor con fondo doble

Para que el calentamiento funcione bien, son necesarias algunas consideraciones básicas (Figura 3.70).

El vapor es suministrado a la paila a través una tubería de vapor (1) bien aislada contra pérdidas de calor. Detrás de la válvula de entrada de vapor (2) se encuentra una válvula reductora de presión (3), que reduce la presión de vapor a la presión permitida. En las pailas usuales, ésta es una presión de 2 a 3 bar (m). Esta reducción de presión es necesaria, porque el fondo de la paila se rajaría si se intro-

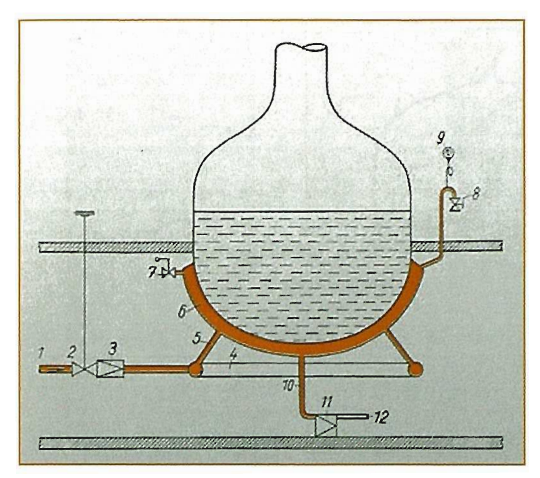


Figura 3.70: Equipamiento de una paila de cocción por vapor con fondo doble
(1) tubería de suministro de vapor, (2) válvula de entrada de vapor, (3) válvula de reducción, (4) tubo distribuidor de vapor, (5) tubos de suministro a la camisa de vapor, (6) camisa de vapor, (7) válvula de seguridad, (8) purga de aire, (9) manómetro, (10) descarga de condensados, (11) recipiente de condensación, (12) descarga de agua condensada

dujera vapor vivo a aproximadamente 15 bar. El vapor es distribuido uniformemente alrededor de la camisa de vapor, a través de un canal anular aislado (4) y se lo suministra a esta última, por medio de varios tubos de suministro (5).

La camisa de vapor está aislada externamente, para tener la menor pérdida de calor posible. Por ser un recipiente a presión, la camisa está equipada reglamentariamente con una válvula de seguridad (7) y un manómetro (9). Al principio de la cocción, se debe purgar con vapor primeramente el aire que se encuentra en la camisa. Para esto, hay soldados en la parte superior de la camisa de vapor 1 a 4 tubos de purga de diámetro pequeño, que están conectados cada uno a una válvula en la parte superior de la sala de cocción. Estas válvulas de purga (8) permanecen abiertas al inicio y también en la cocción, durante el tiempo necesario hasta que fluya vapor hacia afuera. Se tiene entonces la seguridad de que el aire ha sido evacuado completamente de la camisa de vapor. Al final de la cocción, estas válvulas son abiertas. Esto es necesario para evitar la formación de un vacío, debido a la condensación del vapor, que contraería el fondo de la paila. Este proceso ocurre hoy en día de forma automática.

Entre el mosto y el vapor existe una diferencia de temperatura que debe ser equilibrada con ayuda del fondo termoconductor de la paila. El mosto se calienta hasta la ebullición, en tanto que el vapor entrega su calor y condensa, debido a esto último.

El agua de condensación formada es más pesada que el vapor y se acumula en la parte inferior de la camisa de vapor. El agua de condensación debe ser descargada, a través de la tubería de condensados (10), en el recipiente de condensación (11). Este recipiente se encuentra debajo de la camisa de vapor y sólo permite el pasaje de agua, pero no de vapor. Por lo general, los recipientes de condensación trabajan según del principio de flotador.

El agua de condensación es evacuada a través de la tubería de descarga de agua condensada (12). El condensado es agua pura y se lo suministra nuevamente a la caldera, a través de un recipiente acumulador, como agua de alimentación de caldera.

Hemos visto en el análisis de la paila de maceración que los fondos dobles para vapor, usuales antaño, han desaparecido hoy en día y que el calentamiento es realizado por medio de tubos semicirculares soldados al fondo de la paila o a los costados. Lo mismo vale para las pailas de mosto. Las pailas de mosto equipadas con un cocedero externo o interno y que trabajan a baja presión ya no son equipadas con un grupo calefactor de pared, dado que el cocedero de baja presión aporta por sí solo la energía térmica necesaria.

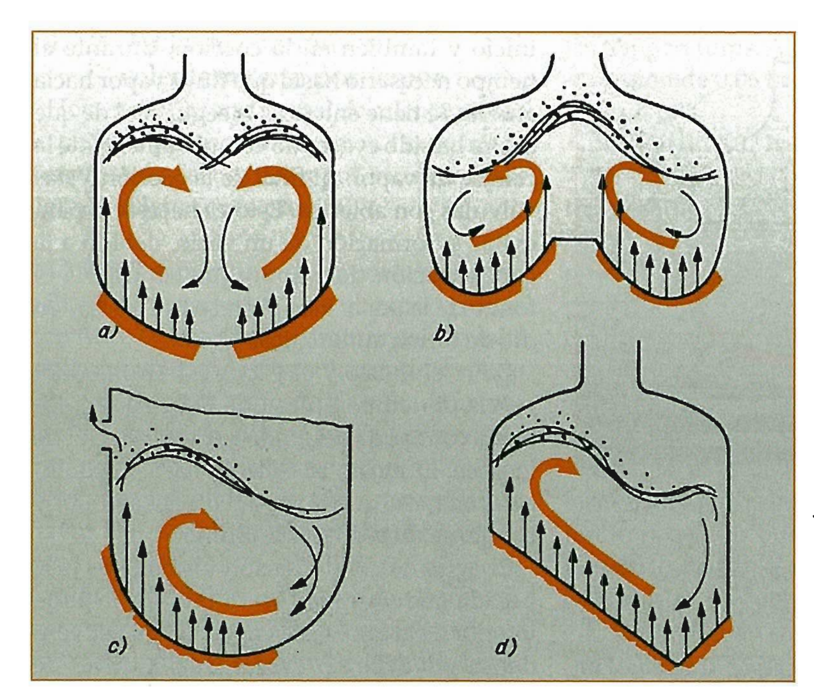


Figura 3.71a
Movimiento de mosto utilizando diferentes fondos de paila
a) fondo de paila común
b) paila de alto rendimiento
c) paila de sala de cocción en bloque
d) paila compacta

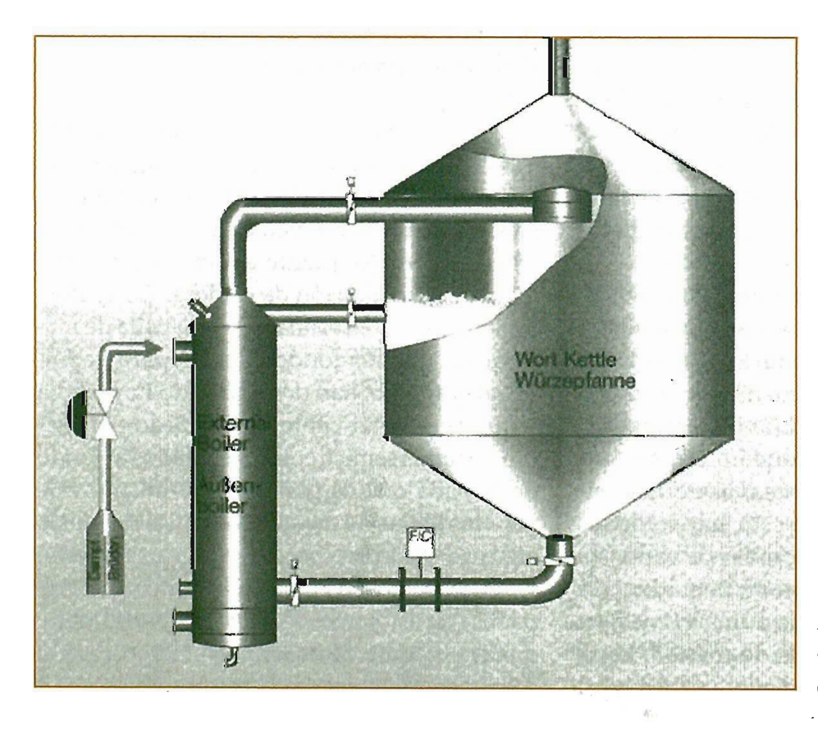


Figura 3.71b
Cocción por termosifón (Ziemann, Ludwigsburg)

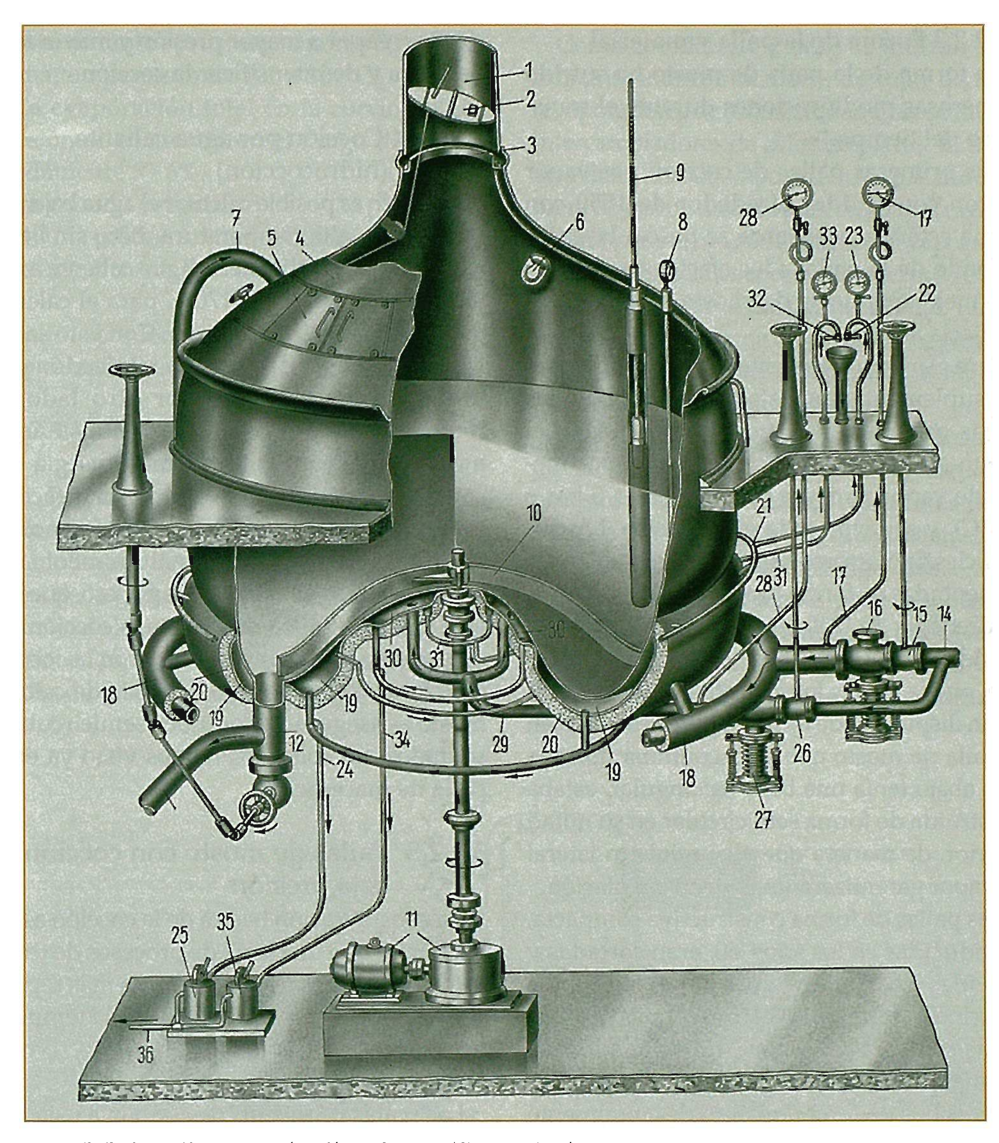


Figura 3.72: Paila de cocción por vapor (cocción en dos zonas/diseño antiguo)

(1) chimenea de vahos, (2) válvula de vahos, (3) descarga de condensado, (4) campana de vahos, (5) abertura de acceso, (6) iluminación, (7) tubería de suministro de mosto, (8) termómetro, (9) regla flotante de medición, (10) agitador, (11) accionamiento del agitador, (12) válvula de salida de mosto, (13) tubería de salida de mosto al filtro de lúpulo, (14) tubería de suministro de vapor, (15) válvula de vapor para la zona externa, (16) válvula reductora para la zona externa, (17) manómetro con tuberías para la zona externa, (18) canal anular aislado para tubería de suministro de vapor (zona externa), (19) camisa exterior de vapor, (20) aislación, (21) purga de aire de la zona externa, (22) válvula de purga de aire de la zona externa, (23) manómetro (zona externa), (24) tubería de descarga de condensados (zona externa), (25) recipiente de condensados para zona externa, (26) válvula de vapor para zona interna, (27) válvula reductora para zona interna, (28) manómetro con tuberías para zona interna, (29) tubería de suministro de vapor para zona interna, (30) camisa interior de vapor, (31) purga de aire de la zona interna, (32) válvula de purga de aire (zona interna), (33) manómetro (zona interna), (34) tubería de descarga de condensados (zona interna), (35) recipiente de condensados (zona interna), (36) tubería de descarga de agua condensada a recipiente acumulador

3.4.2.2.3 Forma de la paila y material

La forma de la paila de mosto ha sufrido numerosas modificaciones durante el transcurso del tiempo.

Las primeras pailas de cocción por vapor fueron construidas alrededor de 1850 con forma esférica. Más tarde se pasó a levantar el fondo de la paila, a los efectos de obtener una mejor ebullición del mosto, desde el centro hacia afuera.

Para el mismo propósito servían los cocederos suplementarios instalados y también las pailas con cocción de zona interna. Aquí el mosto es calentado adicionalmente, por medio de vapor a mayor presión (hasta 5 bar = 158°C), y se favorece la evaporación. Las superficies calefactoras necesarias no pueden ser aumentadas de forma proporcional a la carga.

Alrededor de 1950 se construyeron varias salas de cocción como salas de cocción en bloque, en las cuales los aparatos de cocción estaban dispuestos de forma superpuesta. Si bien la paila de mosto que se encontraba ubicada más abajo tenía una base rectangular, estaba construida de forma semicircular en su mitad inferior, de manera que el suministro lateral de vapor garantizara una buena circulación.

Las pailas de forma constructiva compacta, introducidas en los años '60, eran cortadas y soldadas a partir de chapas lisas. Con esto se prescindía del antaño costoso repujado de las bellas campanas de cobre, que aún adornan algunas salas de cocción. Gracias a las paredes y tubos de calentamiento desigualmente oblicuos se lograba también aquí una buena circulación (Figura 3.71a), pero que no llegaba completamente a las esquinas. Aquí, se podían aumentar las superficies calefactoras de forma proporcional a la carga.

En la Figura 3.72 se muestra una paila de mosto convencional con sus detalles funcionales, tal como se la encuentra aún en algunas fábricas de cerveza. En esta paila, la camisa de vapor está subdividida (cocción de dos zonas), a los efectos de alimentar la zona interior con vapor a mayor presión y mayor temperatura y de intensificar la cocción.

3.4.2.2.4 Cocción por agua caliente (hidrococción)

También es posible calentar el agua bajo presión a muy alta temperatura, pero sin llegar a ebullición, y utilizar esta agua caliente a una temperatura de 160 a 170°C para el calentamiento de la paila de mosto. Con esto se obvian las pérdidas debidas a la recolección y retorno del condensado. Por otro lado, se requieren diámetros de tubos substancialmente mayores y también más energía que con el vapor, porque el vapor es más fácil de mover que el agua líquida. La transferencia de calor del vapor caliente es naturalmente mejor que la del agua caliente. Es por eso, que hoy en día se encuentra raramente la cocción por agua caliente, en comparación con la cocción usual por vapor. La transferencia de calor al mosto es asegurada por tubos semicirculares soldados, tal como los hemos visto ya en la paila de maceración.

3.4.2.3 Pailas de mosto con cocción a baja presión

La consideración básica de la cocción a baja presión es que una serie de procesos de transformación se desarrolla de forma más rápida, si la presión y consecuentemente la temperatura de cocción es mayor que 100°C (ver al respecto Sección 3.4.2.2.1).

Las pailas de mosto con cocción a baja presión se diseñan como pailas a presión cerradas para una presión máxima de 0,5 bar (m) y están equipadas con la valvulería de seguridad necesaria para sobrepresión y depresión. El calentamiento del mosto se realiza por medio de un cocedero interno o por medio de uno externo. El condensador de vahos de la paila está dispuesto en la zona de presión de la paila, de manera de poder utilizar la mayor temperatura de los vahos.

En la cocción a baja presión, se cuece el

mosto durante aproximadamente 50 - 60 min a una temperatura de 102 a 104°C.

La evaporación total en la cocción a baja presión se encuentra en el rango de aproximadamente 5 - 6%.

La cocción se realiza

- en un cocedero externo, dispuesto externamente, a través del cual se bombea el mosto, o
- en un cocedero interno, en el cual el mosto es calentado en la paila de mosto.

3.4.2.3.1 Cocción a baja presión con cocedero externo

En las pailas de mosto con cocción externa, el mosto es recirculado siete a ocho veces por hora, a través del cocedero externo, ubicado fuera de la paila. En este proceso, el mosto es extraído de la parte inferior de la paila de mosto y bombeado, a través del cocedero externo, por medio de una bomba (Figura 3.73, 1).

Como cocederos externos se utilizan generalmente intercambiadores de calor de tubos (evaporadores de tubos). Raramente se utilizan intercambiadores de calor de placas. El mosto atraviesa los tubos por dentro, pasando por fuera de los mismos el vapor en contracorriente. En tanto que el mosto se calienta, el vapor se enfría y condensa. Los cocederos externos se construyen de forma vertical u horizontal. En este último caso, tiene una leve pendiente para una mejor evacuación del condensado. Ambos tipos constructivos son usuales.

El tamaño del cocedero externo (transmisor de calor) se rige según la superficie calefactora necesaria. La superficie calefactora es determinada por la cantidad de tubos calefactores, junto con sus diámetros y longitudes.

Si se deja fluir el mosto por los tubos con baja velocidad, existe el riesgo de que el mosto se queme o que al menos caramelice y aumente consecuentemente su coloración.

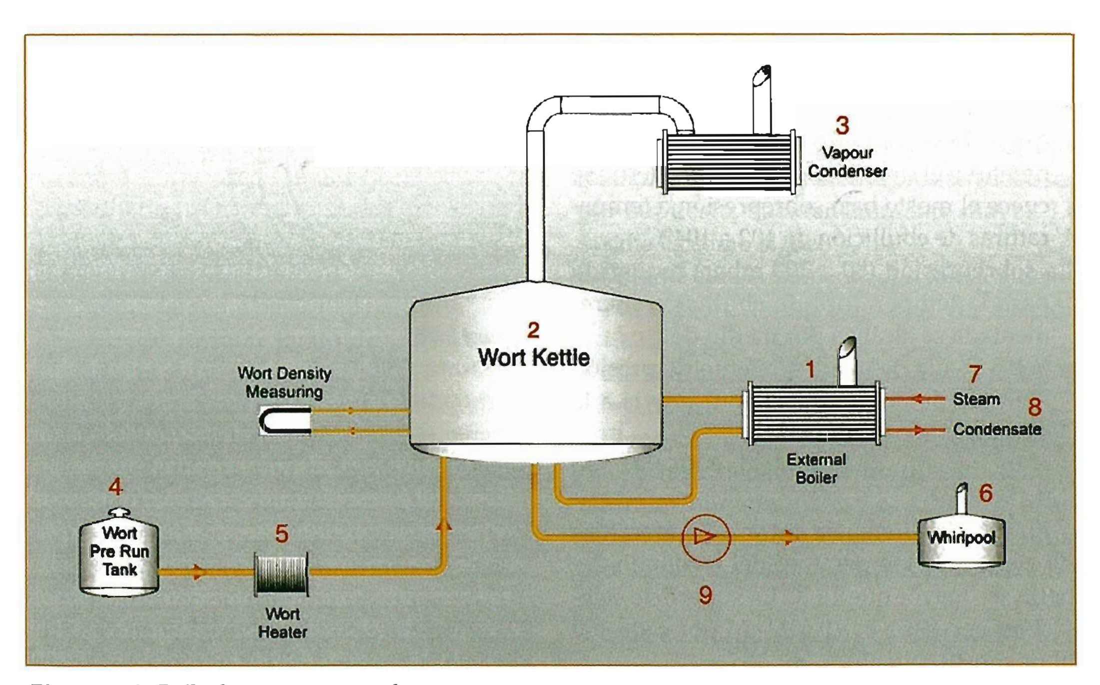


Figura 3.73: Paila de mosto con cocedero externo
(1) cocedero externo, (2) paila de mosto, (3) condensador de vahos de la paila, (4) tanque de espera, (5) dispositivo de calentamiento de mosto, (6) Whirlpool, (7) vapor, (8) condensado, (9) bomba

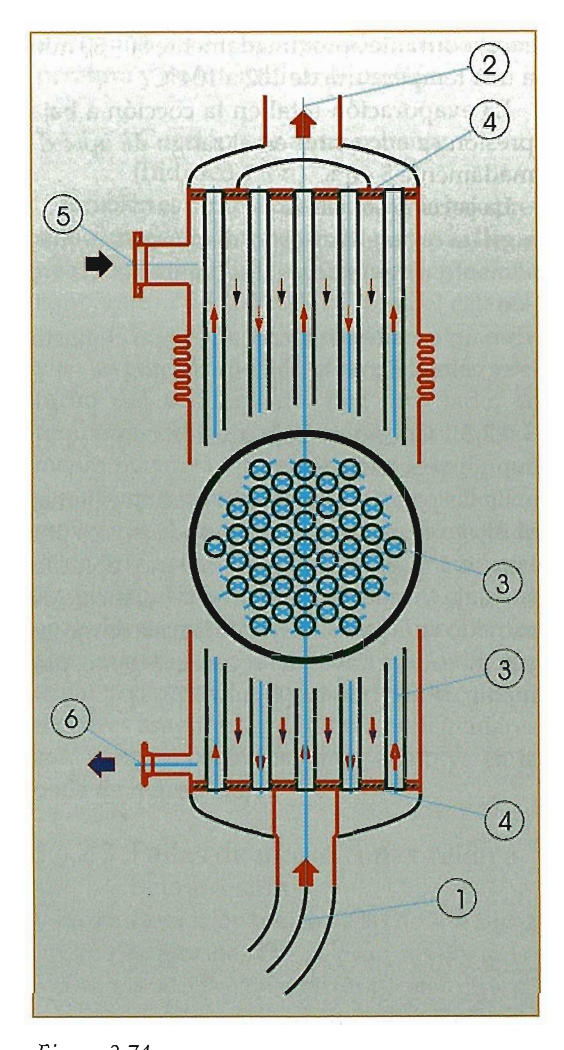


Figura 3.74
Cocedero externo
(1) entrada de mosto, (2) salida de mosto, (3) tubos de mosto, (4) placa de tubos, (5) entrada de vapor, (6) salida de condensado

Además, es de esperar que en los tubos sedimenten proteínas coaguladas, a causa de la elevada temperatura. Para evitar esto, se exigen hoy en día generalmente velocidades de circulación de 2,6 a 3,0 m/s. A los efectos de obtener la misma transferencia de calor, resultan de ello caminos más largos para cada partícula de mosto. Pero dado que la longitud del cocedero está limitada por motivos de espacio, se diseñan frecuentemente los extremos de los intercambiadores de calor como placas desviadoras, de manera que cada partícula de mosto recorra varias veces el intercambiador de calor (Figura 3.74). Sin embargo, las posiciones desviadoras causan esfuerzos de corte sobre las partículas de mosto. Un cocedero externo puede alcanzar longitudes apreciables, para tener pocas posiciones desviadoras.

Existen dos variantes para la cocción:

- Toda la paila se encuentra bajo una leve sobrepresión, los vahos son descargados a través de una válvula de rebose. Aquí es ventajosa la mayor temperatura de los vahos.
- La paila cuece sin presión. También la descarga de vahos ocurre sin presión. Únicamente en el circuito del cocedero externo se cuece el mosto bajo sobrepresión a temperaturas de ebullición de 102 a 104°C.

La sobrepresión (80 a 200 mbar) requerida para la temperatura de ebullición incrementada se alcanza por medio de

- una válvula de mantenimiento de presión (válvula de despresurización) previa a la entrada a la paila, y
- el incremento de la velocidad de rotación de la bomba.

En esto, la diferencia entre la temperatura de vapor y la temperatura del mosto no debería ser mayor que 10 K. La superficie calefactora necesaria es 10 a 11 m² por cada 100 hl de mosto caliente.

Con una velocidad de circulación suficientemente alta y reducida diferencia de temperatura entre vapor y mosto, se logran 30 a 40 cocimientos consecutivos. Luego debe realizarse la limpieza. Si los parámetros no están bien sincronizados, puede llegar a ser necesaria una limpieza después de 6 a 8 cocimientos.

El mosto se expande al retornar a la paila. Sucede en esto una fuerte evaporación, que es deseada. Para ello, el mosto es retornado sobre la superficie del mismo, a través de un cono director o de un dispositivo distribuidor

La bomba de recirculación se dimensiona de manera tal, que el contenido de la paila pueda ser recirculado aproximadamente ocho veces por hora. Aun así, no se asegura con ello que cada partícula de mosto pase ocho veces a través del cocedero, porque el contenido de la paila no se mezcla uniformemente. La cocción externa, en sus inicios únicamente prevista como medida auxiliar para pailas de mosto, que mostraban un efecto de cocción pobre, se impuso entre tanto. A pesar de que la cocción interna también ha continuado siendo desarrollada, la cocción externa ofrece una serie de ventajas:

- la cantidad recirculada puede ser ajustada de forma precisa y puede mezclar bien el contenido de la paila,
- la temperatura de salida del mosto en el cocedero externo puede ser regulada de forma precisa,
- son posibles fases de mantenimiento de alta temperatura precisamente definidas, por medio de tramos adicionales de mantenimiento de alta temperatura,
- son posibles presiones de vapor saturado extremadamente bajas (0,3 bar (m)),
- se puede instalar cualquier tamaño deseado de superficie calefactora.

Sin embargo, tampoco deben pasarse por alto las desventajas del cocedero externo:

- el cocedero externo implica un elevado gasto técnico de instalación (tuberías, intercambiadores de calor, bomba de recirculación) y una aislación térmica adicional,
- la recirculación forzada requiere energía adicional para el bombeo de recirculación,
- con las elevadas velocidades de circulación y los cambios de dirección se incrementan los esfuerzos de corte,
- el requerimiento de espacio es substancialmente mayor, al igual que los costos para la planta.

Aun a pesar de las desventajas, la cocción externa se ha impuesto exitosamente en muchas fábricas de cerveza.

3

3.4.2.3.2 Cocción a baja presión con cocedero interno

Las pailas de mosto modernas están equipadas frecuentemente con cocederos internos (Figura 3.75). El cocedero interno es un intercambiador de calor de tubos instalado en la paila de mosto. El mosto sube a través de los tubos dispuestos verticalmente (1), en tanto que éstos son calentados externamente por el vapor. El vapor introducido por arriba (6) se enfría con esto, condensa (7) y es evacuado.

El mosto en ebullición es acumulado por encima del nivel de mosto en un cono reductor (5) y arrojado contra una pantalla distribuidora (4), que esparce el mosto ampliamente en abanico, causando una evaporación durante el retorno del mosto al nivel de mosto.

En tanto que la temperatura del mosto se incrementa durante la cocción hasta 102 a 104°C, la temperatura del vapor de calentamiento (y con ello también la presión) debe ser, por supuesto, substancialmente mayor. La misma es como sigue:

- durante el calentamiento aproximadamente 140 a 145°C (= 3,8 a 4,3 bar, ver Sección 10.2.2.1) y
- durante la cocción aproximadamente 130°C (= 2,8 bar).

El mosto ingresa por abajo en los tubos de calentamiento del cocedero con una temperatura menor que 100°C y es calentado al ascender (Figura 3.75a). En este proceso se forma prontamente [174] en las paredes interiores una

- capa de burbujas (2), la cual se transforma con un ascenso ulterior en una
- ebullición subenfriada (3), pasando finalmente en la zona más grande a la
- ebullición completa (4),

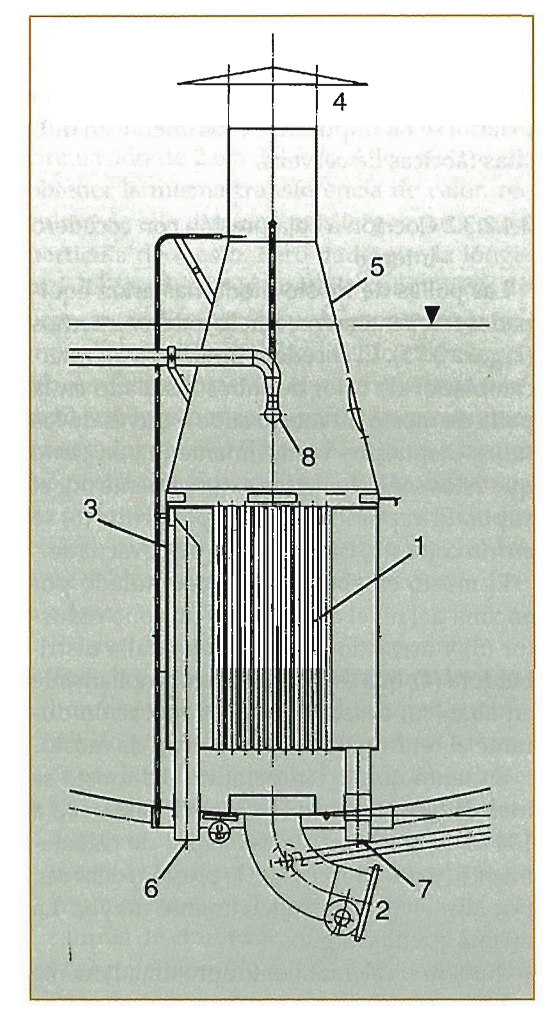


Figura 3.75
Construcción de un cocedero interno
(1) haz de tubos, (2) entrada del mosto, (3) camisa, (4) pantalla distribuidora de mosto, (5) cono reductor, (6) entrada de vapor, (7) descarga de condensados, (8) conexión para limpieza CIP

en tanto que el vapor entrega afuera su calor de evaporación (entalpía) y condensa. El condensado fluye en una capa cada vez más espesa hacia abajo, impidiendo con ello progresivamente la transferencia de calor.

En la ebullición, el agua se transforma mayormente en vapor, que posee un volumen substancialmente mayor que el agua del cual proviene. El mayor volumen formado así es elevado, por encima de la altura del nivel de mosto en la paila, en un cono reductor ubicado encima de los tubos calentadores, siendo finalmente retornado a la superficie del mosto con ayuda de una pantalla distribuidora. La pantalla distribuidora, que puede ser de diferentes formas, es ajustada de manera tal que tenga lugar una circulación completa del mosto en la paila, sin que haya zonas muertas.

Las muy grandes diferencias de temperatura causan un buen efecto de cocción, pero también conllevan problemas: si bien está asegurada ampliamente una recirculación per-

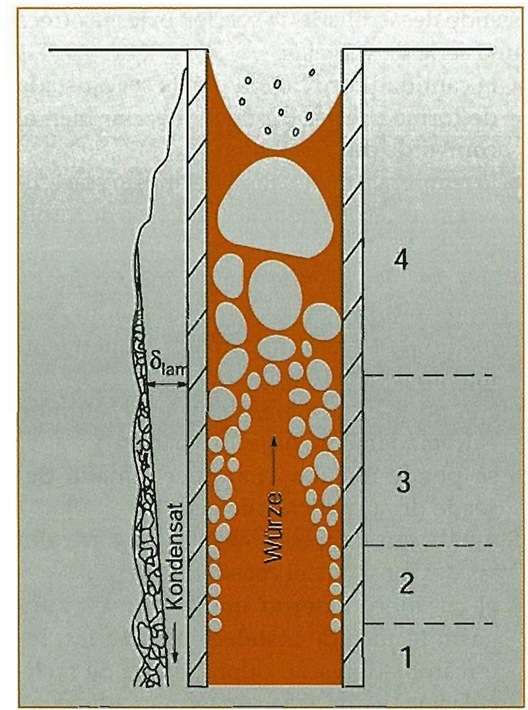


Figura 3.75a
Formación de vapor en los tubos calentadores del cocedero interno
(1) mosto caliente, (2) capa de burbujas, (3) ebullición subenfriada, (4) ebullición completa

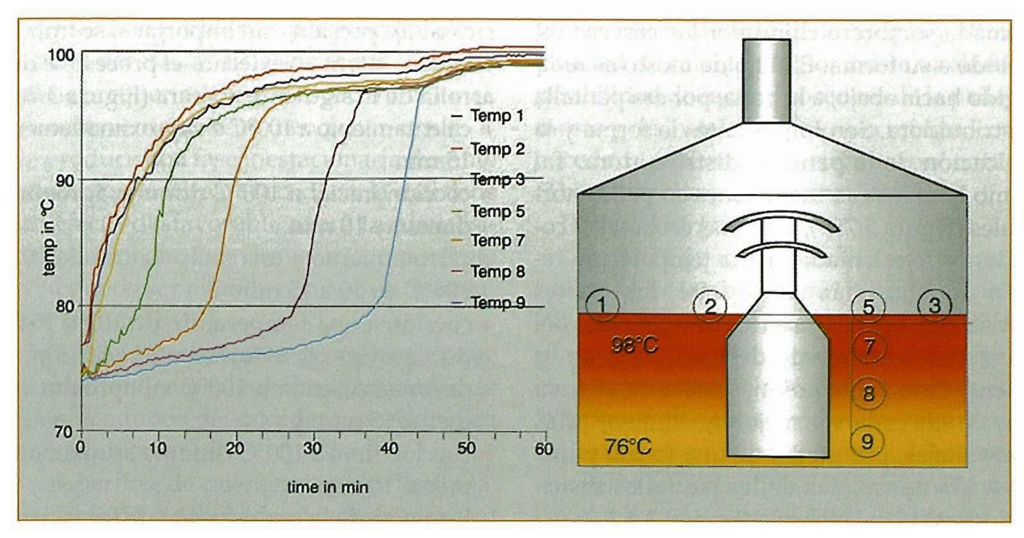


Figura 3.75b
Variaciones de la temperatura durante el calentamiento con cocedero interno
1 a 9 puntos de medición de temperatura (los puntos de medición 4 y 6 no son mostrados)

manente de todo el contenido de la paila durante la cocción interna, suceden irregularidades en el cocedero interno, sobre todo en la fase de calentamiento:

- Durante el calentamiento se succionan las capas más bajas del mosto en la paila y se las distribuye, luego del calentamiento en el cocedero, sobre la superficie del mosto. Por este motivo, se forman en la paila estratos de temperaturas con diferencias de hasta 20K, los cuales se equilibran recién después de 15 a 20 min [190] (Figura 3.75b). Se obtiene de esto un tratamiento irregular del mosto, incluyendo una isomerización irregular de los compuestos amargos y una purga irregular de DMS.
- Durante el calentamiento, la diferencia de temperatura entre el vapor y el mosto que fluye hacia afuera es todavía muy grande. Por este motivo se produce en esa zona primeramente una caramelización y una formación de sedimentos.
- Permanentemente ingresa al cocedero por abajo mosto frío, que recién escapa hacia arriba cuando comienza a cocer. Pero con el cambio de agua a vapor, el volumen aumenta de forma importante. Debido a esto, la circulación es bloqueada pasajeramente y se produce una fuerte pulsación de la cocción durante el intervalo de calentamiento, la cual es claramente audible como crepitación.

De un 1 kg (= 1 l) de agua se forman en la evaporación (presión normal y 100°C) aproximadamente 1700 l de vapor de agua a igual temperatura. La gran cantidad de vapor formada trae aparejados inevitablemente un atascamiento y una pulsación pasajeros en el tubo del cocedero, porque el mosto en ebullición y el vapor en formación no pueden ser descargados tan rápidamente hacia arriba. Este atascamiento es tanto más grande, cuanto más juntos se encuentren los tubos del cocedero.

Debido a la progresiva formación de sedimentos en los tubos, se producen con el tiempo incrustaciones, que obligan a una limpieza de los tubos.

Sobre el cocedero interno se encuentra colocada una pantalla distribuidora, la cual es

llamada sombrero chino por los cerveceros, debido a su forma. El flujo de mosto es redirigido hacia abajo, a la paila, por esa pantalla distribuidora. Son importantes la forma y la ubicación de la pantalla distribuidora. Tal como lo muestran mediciones en pailas normales (Figura 3.75b), las zonas cercanas al cocedero son calentadas a alta temperatura recién mucho más tarde que las partes periféricas. Esto causa en los componentes del mosto un tratamiento desigual, que no es bueno. Como veremos más adelante, se trata hoy en día cada vez mejor de eliminar estas desventajas, por medio de una forma y disposición adecuadas de las pantallas distribuidoras (ver al respecto Sección 3.4.2.6).

En tiempos recientes ha habido estudios [262] respecto de la posibilidad de realizar la distribución del mosto por debajo de la superficie del mismo, para así obtener un mejor tratamiento térmico y homogéneo del mosto.

La cocción dura hoy en día usualmente 50 (hasta 60) min con clara tendencia a reducción del tiempo de cocción. En la cocción clásica a baja presión –sin importar si se trata de cocedero interno o externo– el proceso se desarrolla de la siguiente manera (Figura 3.76):

- calentamiento a 100°C en aproximadamente 15 min
- cocción inicial a 100°C durante aproximadamente 10 min
- calentamiento a una temperatura de 102 a 104°C en 10 a 15 min
- cocción a una temperatura de 102 a 104°C durante aproximadamente 15 a 30 min
- despresurización a 100°C en aproximadamente 15 min, y
- cocción final a 100°C durante aproximadamente 10 min.

Respecto de la ponderación de las ventajas y desventajas de cocederos internos y externos, existen diferentes interpretaciones:

Como ventajas del cocedero interno se mencionan:

- construcción sencilla y robusta con prolongada vida útil,
- no es necesaria una energía de accionamiento adicional, siempre que no sea realizada una recirculación forzada,

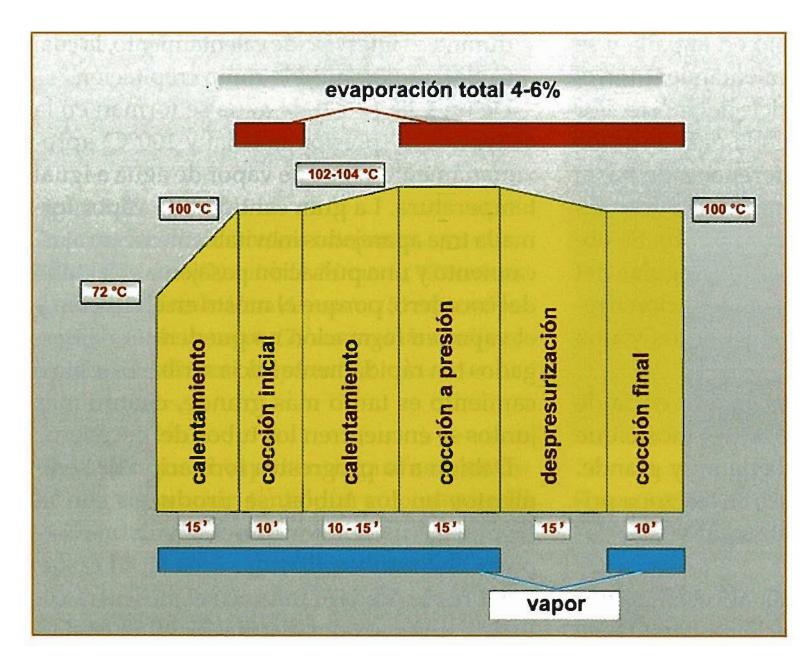


Figura 3.76
Duración de cocción, temperatura y presión en la cocción a baja presión

- limpieza sin problemas por proceso CIP,
- no son necesarias aislaciones adicionales,
- no hay requerimiento de espacio adicional.

Como desventajas debe mencionarse que

- se produce una fase inestacionaria durante el calentamiento para la cocción, la cual tiene un efecto desfavorable sobre la composición del mosto. Esta desventaja importante sólo puede ser evitada con apoyo de bombeo (ver arriba).
- Debido a las elevadas temperaturas durante el calentamiento y las bajas velocidades de flujo, los tubos del cocedero se obstruyen más rápidamente.
- La superficie de calentamiento es limitada.

La decisión respecto de cocedero interno o externo es esencialmente una cuestión de filosofía empresaria, dado que no existen diferencias substanciales entre ambos sistemas.

Pero también existe la posibilidad de calentar el mosto, sin fase inestacionaria, con un radiador multitubular interno con paletas agitadoras (Figura 3.76a). Este tipo de calentamiento se utiliza a veces para calentar recipientes de maceración, con transporte cuidadoso de la templa y alta capacidad de calentamiento. Existe también la posibilidad de sacar el cocedero de la paila de mosto y de instalarlo junto a la misma, como cocedero externo con circulación natural (Thermosyphon, Ziemann).

Pailas Whirlpool

Las pailas de mosto pueden ser utilizadas básicamente también como Whirlpool (pailas Whirlpool), siempre que el fondo de éstas sea plano. Las pailas con cocedero externo son esencialmente más apropiadas como pailas Whirlpool, porque no poseen piezas internas. En las pailas con cocedero interno, debe tenerse en cuenta la obstaculización substancial de la circulación (ver Sección 3.8.3) debida al cocedero, lo cual puede ir en menoscabo de la precipitación del trub caliente.

3.4.2.4 Cocción de mosto a alta temperatura

La consideración de elevar substancialmente la temperatura durante la cocción del mosto se debe a que muchas reacciones se desarro-

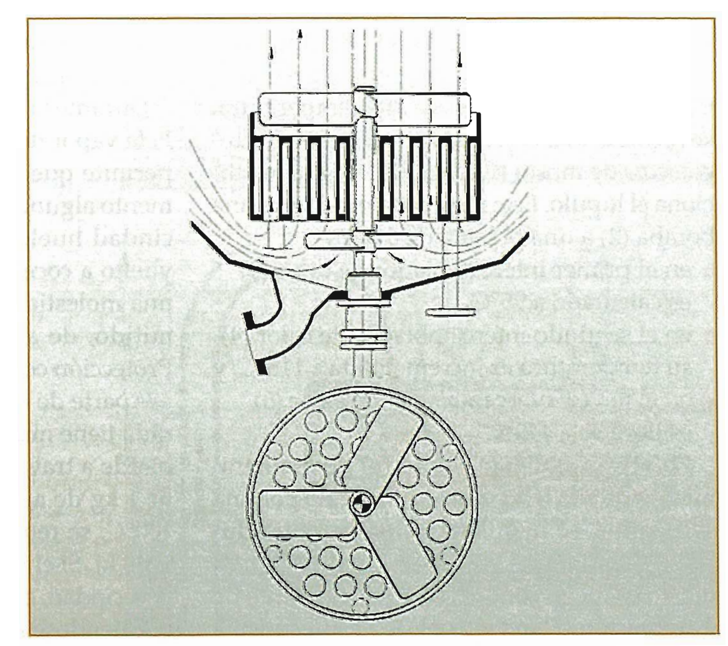


Figura 3.76a
Radiador multitubular interno con hélice
(BTE Brauerei-Technik, Essen, Alemania)

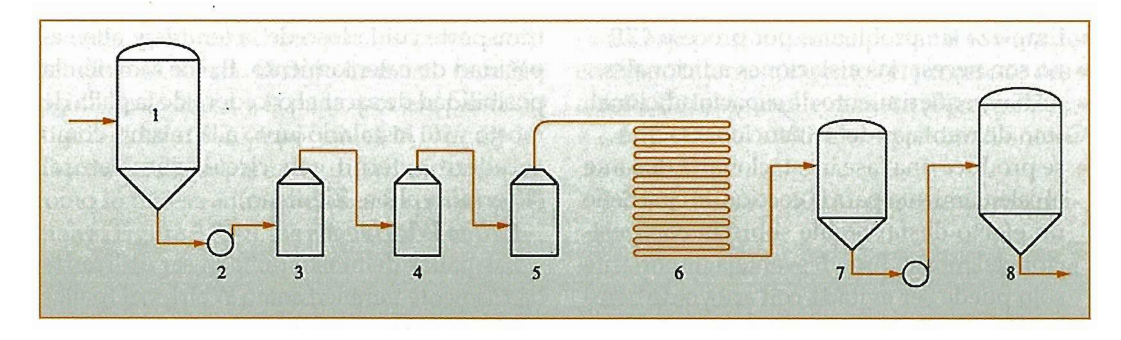


Figura 3.77
Cocción de mosto a alta temperatura
(1) recipiente recolector de mosto, (2) bomba, (3-5) intercambiadores de calor, (6) tramo de mantenimiento de alta temperatura, (7) recipiente de evaporación, (8) segunda etapa de despresurización

llan más rápidamente a temperaturas mayores y consecuentemente a mayor presión.

Así, se requiere para la isomerización completa del α-ácido del lúpulo (según Sommer) a

100°C 90 min de tiempo de cocción
120°C 5 - 8 min de tiempo de mantenimiento de alta temperatura
130°C 3 - 5 min de tiempo de mantenimiento de alta temperatura
140°C 2 - 3 min de tiempo de mantenimiento de alta temperatura
150°C 1 - 1,5 min de tiempo de mantenimiento de alta temperatura

En la cocción de mosto a alta temperatura, se recibe el mosto filtrado en un recipiente recolector de mosto (Figura 3.77, 1) y se le adiciona el lúpulo. Este mosto es llevado por una bomba (2) a una presión de 6 bar y

- en el primer intercambiador de calor (3) es calentado a 95°C,
- en el segundo intercambiador de calor (4) su temperatura es incrementada a 115°C, y
- en el tercer intercambiador de calor (5) es llevado a 140°C.

En el subsiguiente tramo (6) de mantenimiento de alta temperatura, formado por una serpentina, se mantiene la temperatura durante 5 min a una sobrepresión de 6 bar. El mosto es luego conducido a un recipiente de evaporación (7), en el cual de despresuriza a una sobrepresión de 1 bar (= 120°C). En una segunda etapa de despresurización (8), el mosto se despresuriza luego a presión normal y 100°C, pudiendo ser conducido al Whirlpool.

Las ventajas son: menor oxidación y coloración del mosto más clara. Una desventaja es la insuficiente evaporación de substancias volátiles. La cocción de mosto a alta temperatura no está muy difundida y ya tampoco se la instala.

3.4.2.5 Sistemas de cocción de mosto que ahorran energía

Durante la cocción se forma vapor de agua. Este vapor de agua de denomina vaho. Si se permite que los vahos escapen sin impedimento alguno, a través de la chimenea, la vecindad huele que la fábrica de cerveza ha vuelto a cocer. Esto puede ser sentido como una molestia por olores y tampoco está permitido, de acuerdo con la Ley Federal de Protección contra las Inmisiones (Alemania).

Aparte de ello, la cantidad de agua evaporada tiene mucha energía, que en ese caso se pierde a través de la chimenea. Para convertir 1 kg de agua a 100°C en 1 kg de vapor a 100°C, se requieren alrededor de 540 kcal = 2260 kJ. Si el vapor condensa nuevamente en la vecindad, esta cantidad de calor es liberada, perdiéndose para la fábrica de cerveza.

3.4.2.5.1 Condensación de vahos

Por ello, se está interesado en recuperar al menos una parte del calor de evaporación. Esto se realiza con la instalación de un condensador de vahos de paila (abreviación alemana: Pfaduko, por Pfannendunstkondensator) en la chimenea de esta última. Si se condensan ahí los vahos, se recupera el calor de evaporación.

En el condensador de vahos de paila (Figura 3.78), los vahos son conducidos por fuera de tubos o bolsones, a través de los cuales se bombea agua, la cual se calienta de esta manera, en tanto que los vahos entregan su calor de evaporación y condensan. Según el propósito de utilización, los vahos son refrigerados en una o dos etapas, obteniéndose con esto agua caliente. Los condensadores de vahos de paila se construyen hoy en día con refrigeración de una etapa (Figura 3.79).

Por cada 1 hl de agua evaporada se pueden recuperar hasta 8,0 hl de agua caliente a 80°C.

El volumen de los vahos se ha reducido considerablemente, debido a la condensación a agua, y puede ser purgado fácilmente.

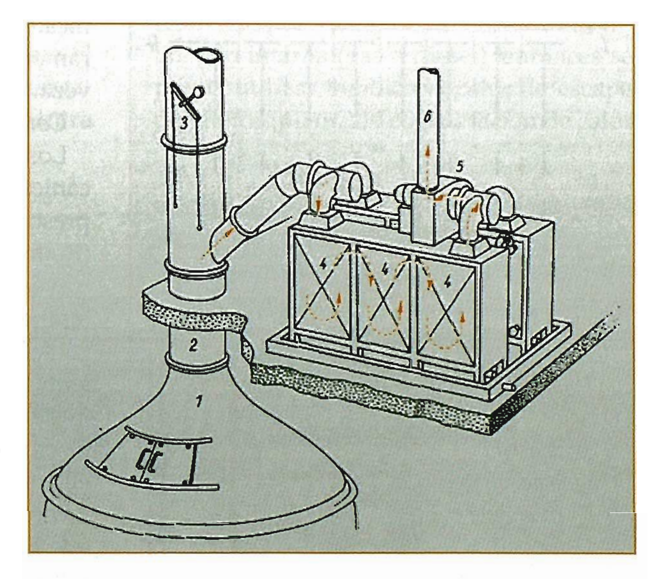


Figura 3.78
Condensador de vahos de paila
(1) paila de mosto
(2) chimenea de vahos
(3) válvula de regulación
(4) cámaras con superficies de intercambio de calor
(5) ventilador
(6) tubería de venteo

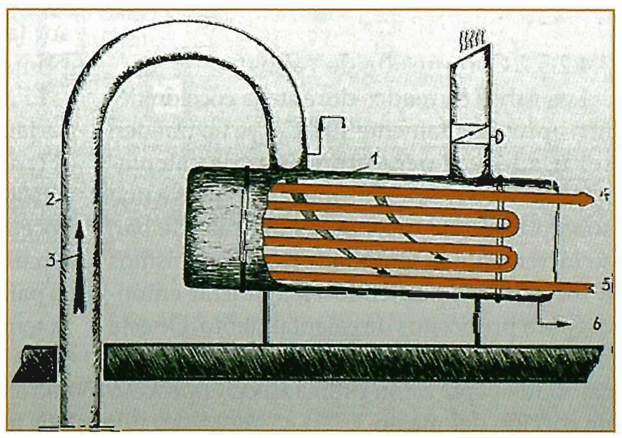


Figura 3.79
Condensador de vahos de paila
(1) intercambiador de calor de tubos
(2) chimenea de vahos
(3) vapor de agua
(4) salida de agua caliente
(5) entrada de agua tibia
(6) descarga de condensado

Hoy en día también se construye más a menudo el condensador de vahos de paila en forma de intercambiador de calor de placas de un paso. En este equipo, los vahos entran fluyendo por la parte superior de cada segunda placa y condensan al bajar, en tanto que el agua de refrigeración fluye en contracorriente, de abajo hacia arriba, por las placas intermedias y se calienta durante el pasaje (Figura 3.79a). Por motivos termotécnicos se utiliza agua lo más caliente posible, como agua de refrigeración, la cual es llevada lo más cerca posible del punto de ebullición.

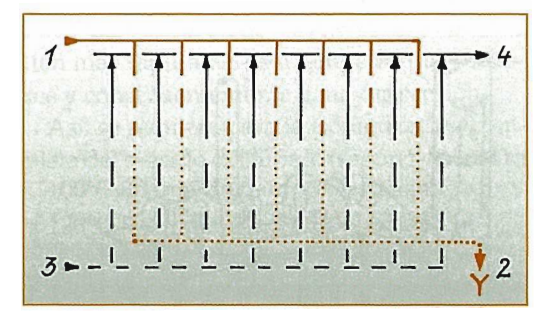


Figura 3.79a
Intercambiador de calor de placas como condensador de vahos de paila
(1) vahos
(2) condensado
(3) agua de refrigeración
(4) agua caliente

3.4.2.5.2 Compresión de vahos

Los vahos formados durante la cocción tienen aproximadamente 100°C y ya no pueden ser usados así para propósitos de calentamiento. Pero si se comprimen los vahos a una sobrepresión de unas pocas décimas de bar, se incrementa la temperatura de los mismos a 102 a 108°C, pudiéndoselos utilizar entonces para propósitos de calentamiento. De esta manera, se puede recuperar directamente el calor de evaporación utilizado en el proceso de cocción del mosto.

Para esta utilización de los vahos, es precondición que los mismos estén libres de aire, lo cual sólo sucede si la paila cuece libre de espuma y sin aire arrastrado.

La compresión de vahos se realiza

- por medio de un compresor mecánico (se habla entonces de compresión mecánica de vahos), o
- por medio de un inyector de vapor, el cual necesita vapor impulsor proveniente de la caldera (se habla entonces de compresión térmica de vahos).

Los compresores mecánicos de vahos son considerados como el estado actual de la técnica. Los compresores térmicos de vahos raramente se encuentran en las fábricas de cerveza.

Compresión mecánica de vahos

Los vahos formados son comprimidos mecánicamente en un turbocompresor, un compresor de tornillo o uno de pistones rotativos (Roots) a una presión de 0,2 a 0,5 bar (m). A través de esta compresión se incrementa la temperatura de los vahos, pudiendo reutilizárselos directamente para propósitos de calentamiento. Sin embargo, se realiza previamente una inyección de condensado, a los efectos de reducir el sobrecalentamiento. Por ello, se puede ahorrar vapor y consecuentemente energía a través de la compresión de vahos. Ello se debe a que únicamente se requiere la energía para el accionamiento del compresor (aproximadamente 5% de la utilización primaria de energía).

El calentamiento del mosto se inicia necesariamente con el suministro de vapor vivo (Figura 3.80, 10), que proviene de la caldera, al cocedero. El mosto es forzado a través del cocedero (3) por medio de una bomba de recirculación (4), es calentado ahí y retornado a la paila de mosto (1). Cuando se ha alcanzado la temperatura de ebullición deseada de 102 a 106°C en la salida del cocedero, entra en operación el compresor (2) y se comprimen los vahos formados (9) a una presión de 0,09 a 0,25

bar (m) (= 102 a 106°C). De esta manera, se mantiene en operación el proceso de cocción.

La compresión de vahos también puede ser instalada en plantas existentes y también es interesante para fábricas de cerveza que no desean la cocción a baja presión por motivos cualitativos. Una mayor presión se forma únicamente en el cocedero externo, pero no en la paila. Sin embargo, el sistema funciona solamente si es operado absolutamente libre de aire. Por este motivo, se encuentran instalados, en el punto más bajo, siempre desaireadores automáticos, dado que el aire más pesado desciende.

El ahorro de vapor vivo es considerable en el caso de la compresión de vahos. Dado que se reutiliza el calor de condensación para el calentamiento del mosto, casi no hay agua caliente sobrante. Se requiere un seguro contra vacío en la paila, a los efectos de evitar el ingreso de aire [13]. Sin embargo, frente a sus ventajas, el sistema presenta las siguientes desventajas:

- la técnica del equipo es complicada y cara,
- se requiere una gran superficie de transferencia de calor, dado que sólo se pueden aprovechar pequeñas diferencias de temperatura (60 a 80 m²/100 hl de mosto),
- son necesarios trabajos de mantenimiento,
- si se utiliza un motor eléctrico para el accionamiento, pueden producirse picos de corriente por demanda de energía en el árbol del compresor. Si el accionamiento es realizado por medio de un motor de combustión interna (gas o diesel), entonces se puede utilizar también el calor de escape del motor (planta de cogeneración de calor

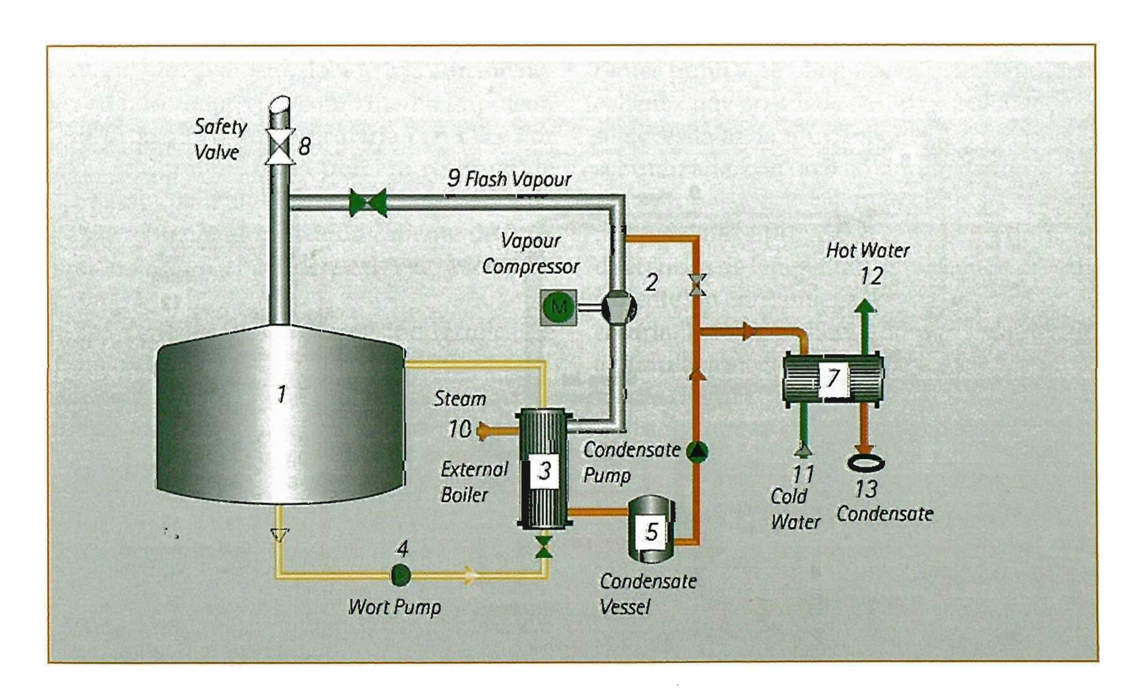


Figura 3.80
Planta de compresión mecánica de vahos
(1) paila de mosto, (2) compresor, (3) cocedero externo, (4) bomba de recirculación de mosto, (5) recipiente de condensados, (6) bomba de condensados, (7) condensador de vahos de paila, (8) válvula de seguridad, (9) vahos, (10) vapor vivo, (11) agua fría, (12) agua caliente, (13) condensado

y electricidad - abreviación en alemán KWK, por Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage). En ese caso no se producen picos de corriente. Resumiendo, se puede decir que una compresión de vahos recién tiene sentido a partir de más de 5 cocimientos/día. Las ventajas de la compresión de vahos aumentan con la cantidad diaria de cocimientos y el tamaño de la carga.

Compresión térmica de vahos

En la compresión térmica de vahos, éstos son aspirados y comprimidos por medio de un inyector de vapor (Figura 3.81). Este inyector está compuesto por una cámara de mezcla (1) con una tobera (2), a través de la cual se introduce vapor vivo de la caldera con una presión mínima de 8 bar (m), en lo posible 18 bar. Debido a la alta velocidad del vapor vivo, los vahos son arrastrados y se transforma, con velocidad decreciente, la energía cinética en energía potencial con presión de 0,1 a 0,4 bar (m) en el difusor (3) subsiguiente.

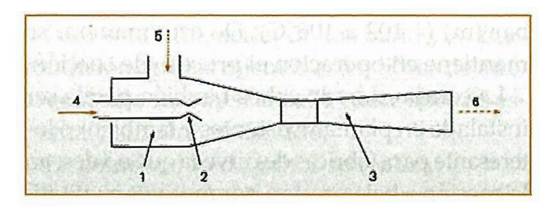


Figura 3.81
Inyector de vapor
(1) cabezal, (2) tobera, (3) difusor, (4) vapor impulsor, (5) vahos, (6) vapor de calentamiento

La planta de compresión térmica de vahos (Figura 3.82) trabaja de manera tal [133] que el mosto es calentado primeramente por su-

Figura 3.82
Planta de compresión térmica de vahos
(1) paila de mosto, (2) compresor por chorro de vapor, (3) cocedero externo, (4) bomba de recirculación de mosto, (5) recipiente de condensados, (6) bomba de condensados, (7) refrigerador de condensados, (8) válvula de seguridad, (9) vahos, (10) vapor vivo, (11) agua fría, (12) agua caliente, (13) condensado

ministro de vapor vivo (14). El mosto es forzado a través del cocedero (3), por medio de una bomba de recirculación (4), se lo calienta y es retornado a la paila de mosto (1). Cuando se ha alcanzado la temperatura de ebullición de 106°C detrás del cocedero externo, entra en operación el inyector de vapor (2).

La mayor parte de los vahos (9) es aspirada por el compresor por chorro de vapor, es comprimida y llevada a un nivel de temperatura más alto. Estos vahos comprimidos son conducidos al cocedero externo (3) y continúan calentando el mosto para la cocción.

El condensado a 106°C y 0,3 bar (m), formado en el cocedero externo, es recibido en un recipiente acumulador (5) y suministrado al refrigerador de condensados (7), a través de una bomba de condensados (6).

Si se comprimiera la totalidad de los vahos, se suministraría cada vez más energía de calentamiento al mosto, debido a la adición necesaria de vapor vivo como medio impulsor, y el proceso se descontrolaría con ello. Por esto, se condensa una porción residual de aproximadamente 30% en el condensador de vahos, obteniendo así agua caliente de operación (12) en el condensador de vahos de paila (7).

Las ventajas en la compresión térmica de vahos son

- la operación libre de problemas, con reducido gasto de mantenimiento,
- la inexistencia de picos de energía eléctrica.

Desventajosas son

- las grandes superficies de transferencia de calor necesarias, debido a la baja temperatura de vapor de calentamiento
- la producción incrementada de agua caliente, y
- la elevada presión de vapor requerida (posible 18 bar; se requiere una caldera propia).

Desde el punto de vista de los costos, la compresión térmica de vahos puede ser una alternativa favorable frente a la compresión mecánica de vahos, no sólo para fábricas de cerveza más pequeñas, sino también para aquellas grandes, que tengan una demanda adicional de agua caliente. En la comparación de los ahorros de costos de energía por cocimiento (100 hl con 10% de evaporación), debidos a compresión térmica de vahos, frente a la cocción convencional sin compresión resultan diferencias substanciales [132]. Sin embargo, la instalación de las superficies necesarias de intercambio de calor, en el caso de cocedero interno, causa usualmente grandes problemas. Además, la utilización de la compresión térmica de vahos sólo tiene sentido si también se puede aprovechar el agua caliente producida.

3.4.2.5.3 Cocción a baja presión con acumulador de energía

Debido a la transferencia de calor en diferentes puntos, se obtiene generalmente agua caliente, que no puede ser aprovechada. Pero se necesita agua muy caliente, la cual puede ser utilizada, con un bajo suministro de calor, para propósitos de calentamiento. Es necesario, para ello, aprovechar también reducidas diferencias de temperatura y acumular el agua caliente sin enfriamiento para cuando sea necesaria. Esto es posibilitado por sistemas de acumulación de energía aislados térmicamente (Figura 3.84).

El agua que se evapora en la paila de mosto (3) es condensada en el condensador de vahos de paila (4), en tanto que el agua de refrigeración es calentada en contracorriente a 97°C. El agua calentada a 97°C es retornada a la parte superior del acumulador de energía (5). Con el agua caliente de la parte superior del acumulador de energía se puede calentar el mosto proveniente del tanque recolector de mosto (1) o la templa en la cuba de maceración calentable (6). También son posibles otras fuentes de calentamiento. Pero debe prestarse atención a que el agua caliente no se enfríe en esto de manera substancial.

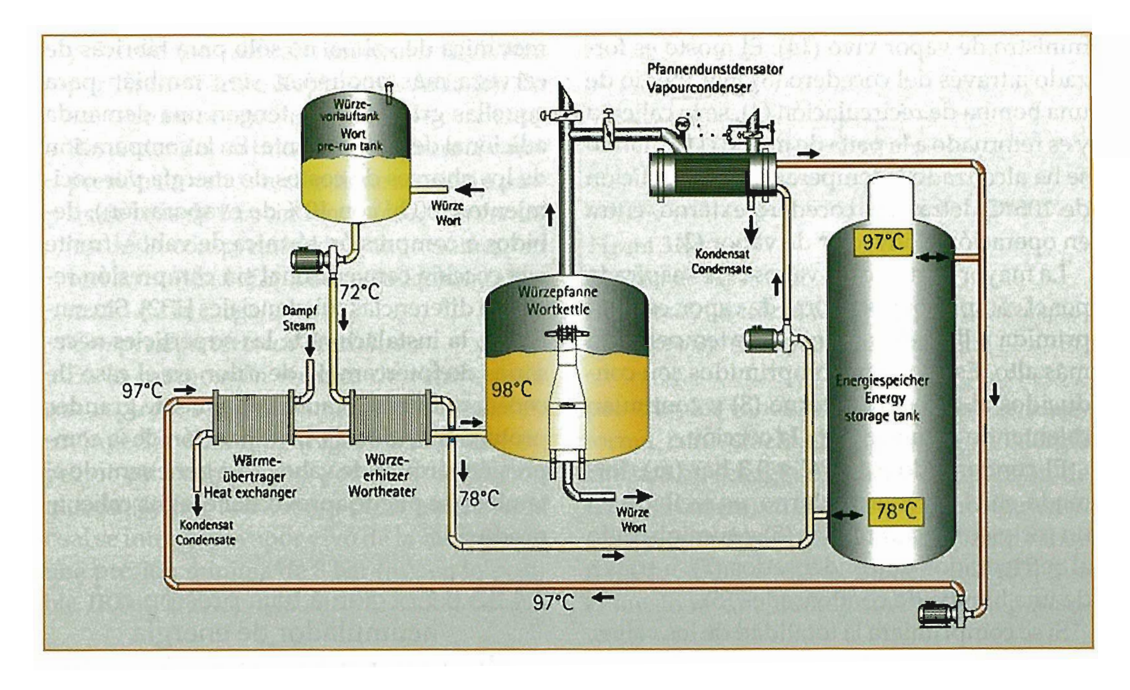


Figura 3.84
Sistema acumulador de energía
(1) tanque recolector de mosto, (2) calentador de mosto, (3) paila de mosto, (4) condensador de vahos de paila, (5) acumulador de energía, (6) cuba de maceración calentable

El agua caliente es acumulada en el acumulador de energía, que se encuentra bien aislado térmicamente. En esto, la interfase entre el agua muy caliente y el agua caliente se corre, según la demanda. La zona de mezcla depende de la construcción del acumulador y es de sólo aproximadamente 10 a 20 cm en acumuladores delgados.

El calor de escape es acumulable con tales sistemas de acumulación por un tiempo prolongado y puede ser requerido en todo momento. Es importante en esto que la temperatura del acumulador no descienda. Esto se logra por medio de un inteligente aprovechamiento de hasta las menores diferencias de temperatura.

El ahorro de energía primaria frente a la cocción convencional sin recuperación de calor es

- en la cocción a baja presión, aproximadamente 40 a 50%,
- en la cocción a baja presión con acumulador de energía, aproximadamente 60 a 70%.

3.4.2.6 Sistemas modernos de cocción de mosto

La sala de cocción –en especial la cocción de mosto– es por lejos el mayor consumidor de energía en la fábrica de cerveza. Por ello, se realizan esfuerzos para disminuir decisivamente el consumo de energía en la sala de cocción. Aparte de ahorrar costos, se contribuye así a un cuidado del medio ambiente, debido a la menor expulsión de CO_2.

En los años pasados se ha desarrollado una serie de sistemas de cocción, que también tienen como objetivo una mejora cualitativa del mosto y la cerveza, aparte de un ahorro de energía.

Si hasta hace pocos años se estaba orgulloso de tener una paila de alto rendimiento con 15% de evaporación total y duración de cocción de dos horas, hoy en día se obtienen mejores calidades de mosto que antes en sistemas modernos de cocción con 4 a 5% de evaporación total y con 35 a 40 min de tiempo de cocción.

Así, están en primer plano en los sistemas modernos de cocción de mosto: que la carga térmica del mosto sea lo más baja posible y que no exceda un TBZ de 30 a 40, que la purga de DMS libre sea lo más completa posible y que en la mitad de enfriamiento alcance valores menores que 100 µg/l.

Los componentes difícilmente volátiles, como 2-feniletanal o los hidroxiácidos grasos deben ser primeramente degradados por una cierta carga térmica o primeramente formados, como los aldehídos de Strecker, para luego ser purgados. Por ello, en el caso de un tiempo de cocción demasiado breve puede haber perfiles aromáticos modificados.

El DMS libre y otras substancias aromáticas volátiles, como 2- y 3-metilbutanal, hexanal y algunos aldehídos de Strecker, sólo pueden volatilizarse si se combinan con una superficie gaseosa, en la cual puedan volatilizarse. Esto sucede, por ejemplo, cuando se disminuye la presión en el mosto caliente: el agua hierve, evaporándose luego, y las burbujas de vapor o vahos formados brindan a las substancias aromáticas volátiles una posibilidad bienvenida para el pasaje al estado gaseoso y para la volatilización (evaporación, liberación). Todos los sistemas modernos de cocción de mosto tratan por eso de lograr la posibilidad de purga de las substancias aromáticas volátiles

- por un flujo de gas inerte o de vapor,
- por despresurización, o
- por cocción.

Pero también se da especial importancia a la obtención de una suficiente pero no demasiado avanzada coagulación y precipitación de proteínas, por medio de una cocción cuidadosa, para favorecer con ello la estabilidad de espuma de la cerveza. De esta manera, esta tendencia hacia la cocción cuidadosa del mosto tiene ventajas económicas, debido al ahorro de energía, y produce cervezas de alto valor cualitativo, debido a una mejor estabilidad de sabor y de espuma.

El sistema básico en la mayoría de los sistemas modernos de cocción de mosto está representado por la combinación cocedero interno - Whirlpool, entre la cual o a la cual se encuentran integrados aparatos adicionales. La tendencia general es agregar complementos a instalaciones de salas de cocción ya existentes.

A continuación, se describen los sistemas modernos de cocción de mosto más importantes. Todos tienen en común una evaporación total minimizada, temperaturas y tiempos de cocción minimizados, así como la máxima purga del DMS libre formado posteriormente o la evitación de su formación posterior.

3.4.2.6.1 Cocción dinámica a baja presión (Hrch. Huppmann GmbH, Kitzingen)

En la cocción dinámica a baja presión no hay, durante la cocción del mosto, una fase de mantenimiento de presión que dure prolongadamente, sino que ocurre una permanente alternación entre establecimiento de presión y reducción de presión (Figura 3.85a). Con el frecuente establecimiento de presión y la posterior reducción de presión se quiere dar la posibilidad de escape a los componentes volátiles, como el DMS libre.

Usualmente se comienza (Fig. 3.85b) con una fase de precocción a presión normal y 100°C (1), que debe servir en especial a la coagulación de proteínas y la isomerización de las resinas de lúpulo. Luego tiene lugar el establecimiento de presión (2). Para esto, se cierra la válvula de vahos y se establece una presión de paila de 150 mbar. La temperatura

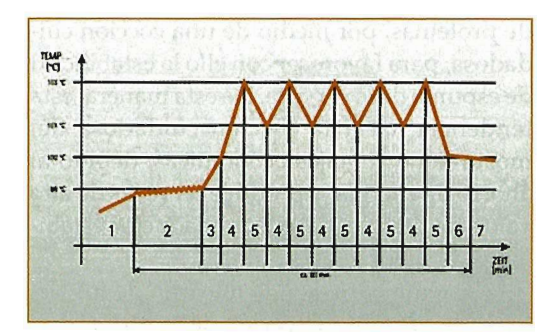


Figura 3.85a
Cocción dinámica a baja presión (abreviación en alemán: NDK)
(1) calentamiento, (2) calentamiento dinámico fraccionado, (3) precocción, (4) establecimiento de presión, (5) reducción de presión, (6) poscocción, (7) bombeo de mosto caliente

aumenta a 103°C, manteniéndosela durante 3 a 5 min.

En la fase de stripping (3) se reduce la presión a 50 mbar, con lo cual la temperatura baja a 101°C. Para acelerar esta reducción de presión, se cierra el suministro de vapor y se opera el circuito de regulación de agua del acumulador de energía a caudal total (ver Sección 3.4.2.5.3). Luego de una reducción de presión de 3 a 5 min, se abre nuevamente el suministro de vapor, recomenzando el proceso. Se pueden realizar hasta seis de estos ciclos de establecimiento de presión / reducción de presión en serie.

Las frecuentes fases de reducción de presión causan un fuerte movimiento por ebullición, dado que se forman burbujas de vapor

Figura 3.85b: Fases de la cocción dinámica a baja presión
(1) fase de precocción, (2 y 4) establecimiento de presión, (3) fase de stripping, (5) cocción atmosférica

en el mosto, ascendiendo éstas bruscamente. De esta manera, se asegura una evaporación substancialmente más intensiva y amplia de los componentes volátiles del mosto [151].

Al final del proceso ocurre un establecimiento de la presión (4) en 25 mbar a 100,5°C y finalmente una cocción atmosférica (5) a presión normal y 100°C y válvula de vahos abierta.

Con este proceso, es posible hoy en día una evaporación total del 4,5% (referido al mosto caliente) con un tiempo de cocción de 40 a 50 min.

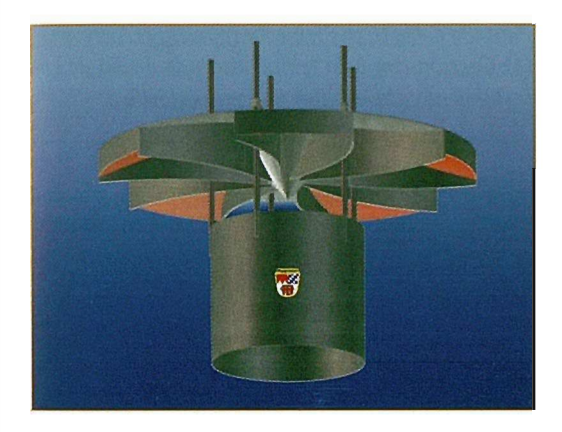


Figura 3.85c
Pantalla de dos fases
(Tipo Huppmann, Kitzingen)
Descripción en el texto

Este proceso se complementa con una pantalla distribuidora especial de dos fases.

La pantalla de dos fases (Figura 3.85 c) está segmentada en dos niveles. Debido al cambio de dirección reotécnicamente favorable, el mosto en ebullición es segmentado y rociado superpuesto en dos niveles, con lo cual se logra un muy buen efecto de evaporación. Simultáneamente, el mosto es sometido a una leve rotación, debido al diseño apropiado de los segmentos de la pantalla. Los filetes visibles arriba en la ilustración indican, que la pantalla es ajustable en altura. Esto vale para todas las pantallas, dado que la altura óptima debe ser determinada.

3.4.2.6.2 Cocción aromática con optimización de fases „Ecotherm" (Anton Steinecker GmbH, Freising)

Los componentes principales de este sistema de cocción interna son una bomba de recirculación, diseñada como bomba de transporte cuidadoso y regulada por frecuencia, y una pantalla distribuidora de diseño especial.

Por medio de un control, se logra que puedan ser seleccionadas una temperatura de medio de calentamiento y un caudal de recirculación propios para cada momento del calentamiento y la cocción. De esta manera, pueden ser ajustados en un marco acotado los valores deseados para el mosto caliente. Así, a través de un calentamiento rápido o retardado y una diferenciación de las fases de cocción, es posible lograr destacar el carácter de tipos particulares de cerveza, influyendo la disociación del precursor de DMS y la formación de substancias aromáticas durante la cocción, a través de la temperatura del medio de calentamiento.

De acuerdo con esto, la fase de cocción de 70 min se divide en tres partes [193]:

- 20 min; debido a la elevadas potencias de calentamiento, se separa rápidamente el nitrógeno fácilmente precipitable,
- 30 min; con baja potencia de calentamiento, es impulsada la degradación del DMS-P a temperatura constante de paila (99°C), ahorrándose energía de calentamiento,
- 20 min; potencia de calentamiento más alta, con el objetivo: ajuste del contenido de nitrógeno, por incremento efectivo de la precipitación.

La utilización de una pantalla distribuidora de mosto sirve preponderantemente para la purga de componentes aromáticos volátiles en vapor de agua, en especial la degradación de la preetapa de DMS y la purga del DMS li-

bre. Por eso, el diseño de la pantalla distribuidora de mosto es de gran importancia.

Pantalla doble (tipo Steinecker)

En la nueva pantalla doble (Figura 3.85d), el mosto es presionado a menor temperatura de medio de calentamiento (aproximadamente 130°C) (1, lado derecho) sobre todo contra la pantalla inferior y se lo conduce al tercio exterior de la paila, a través de un cambio de dirección fluidodinámico. Se asegura con ello una buena evaporación, en tanto que de la pantalla superior fluye muy poco mosto con velocidad más baja. Esta fase se trata de utilizar en especial para la evaporación de substancias aromáticas indeseadas.

Con máxima potencia calorífica (temperatura de medio de calentamiento aproximadamente 145°C) (2, lado izquierdo) en el inicio de la cocción, se presiona el mosto en ebullición, tanto a través del cono reductor interno como a través del externo), contra ambas pantallas y se lo desvía. En esto, la pantalla inferior, menos profunda, impide a la superior arrojar el mosto contra las paredes de la paila. Esto último causaría esfuerzos de corte innecesarios sobre el mosto.

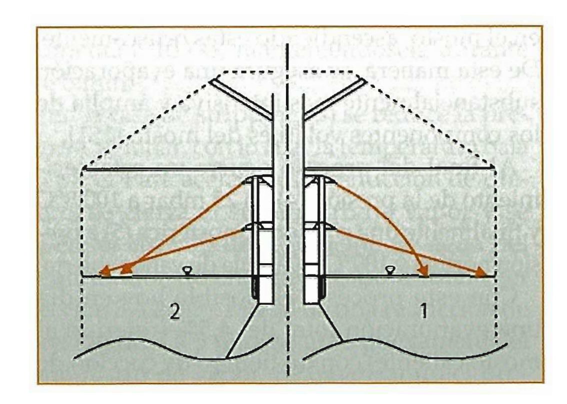


Figura 3.85d
Pantalla doble (tipo Steinecker, Freising, Alemania) (1) Cocción con baja temperatura de medio de calentamiento, (2) máxima potencia calorífica

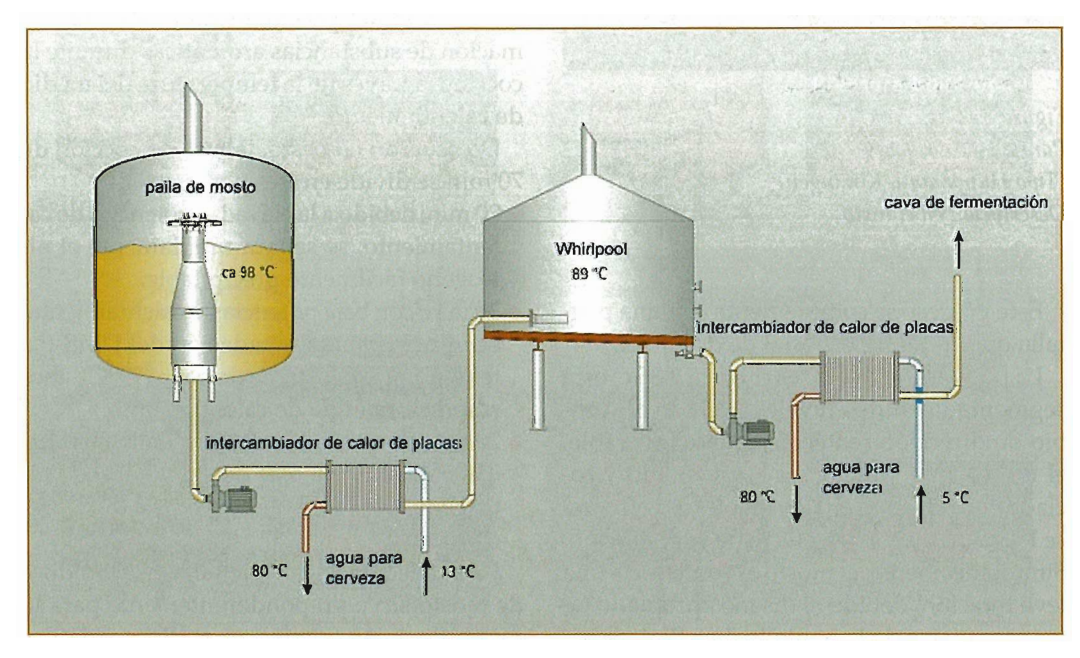


Figura 3.85e
Prerrefrigeración del mosto

3.4.2.6.3 Prerrefrigeración del mosto

Si el mosto es refrigerado a menos de 90°C, antes de conducirlo al Whirlpool, se puede lograr un aumento notablemente menor del TBZ durante el reposo en el Whirlpool. Si bien el TBZ aumenta en promedio 9 unidades sin preenfriamiento, se puede reducir el aumento a sólo 2 unidades, por prerrefrigeración. Del mismo modo, disminuye las posformación de DMS libre en 30 a 45%, por prerrefrigeración.

Además, por medio de una refrigeración del mosto, la cual es intercalada entre paila de mosto y Whirlpool (Figura 3.85e), se puede obtener agua a 80°C para cerveza.

3.4.2.6.4 Evaporación por vacío

(A. Ziemann GmbH, Ludwigsburg, Alemania)

El posevaporador es intercalado detrás del Whirlpool (Figura 3.85f). El mosto es bombeado, desde el Whirlpool, tangencialmente al evaporador rápido (2). El incremento de volumen causa una caída de presión a alrededor de 600 mbar (a). Las substancias aromáticas fácilmente volátiles, como el DMS libre, se volatilizan y son precipitadas en el condensador de vahos (4). Una bomba de vacío (3) inicia el proceso y sirve para mantener la depresión, la cual se autorregula, porque el incremento de volumen, debido a la evaporación, es neutralizado por la condensación.

A partir de 1 litro de agua se forman alrededor de 1700 litros de vapor durante la evaporación. Durante la condensación en el condensador de vahos, los 1700 litros de vapor se transforman nuevamente en 1 litro de agua. En tanto que allí condense vapor, siempre continuará ingresando vapor. Y algo más: para la evaporación (agua / vapor) se necesitan 2257 kJ/kg (calor específico de evaporación) a presión normal. Este calor es liberado nuevamente durante la condensación en el condensador de vahos y calienta el agua de refrigeración. El mosto se enfría en este proceso en alrededor de 10°C.

La cocción dura 40 min con una evaporación total de aproximadamente 4%. En el evaporador rápido se evapora luego alrededor de 2% adicional. En la evaporación por vacío, se puede reducir notablemente el contenido de DMS libre [255] (Figura 3.68a), el cual se había incrementado durante el reposo en el Whirlpool. En la comparación entre cocción clásica y posevaporación, resultan diferencias analíticamente detectables y también sensoriales [263], que pesan a favor de una evaporación por vacío: acortamiento del tiempo de cocción con carga térmica más reducida y, al mismo tiempo, tratamiento cuidadoso del nitrógeno coagulable, reducción de la evapora-

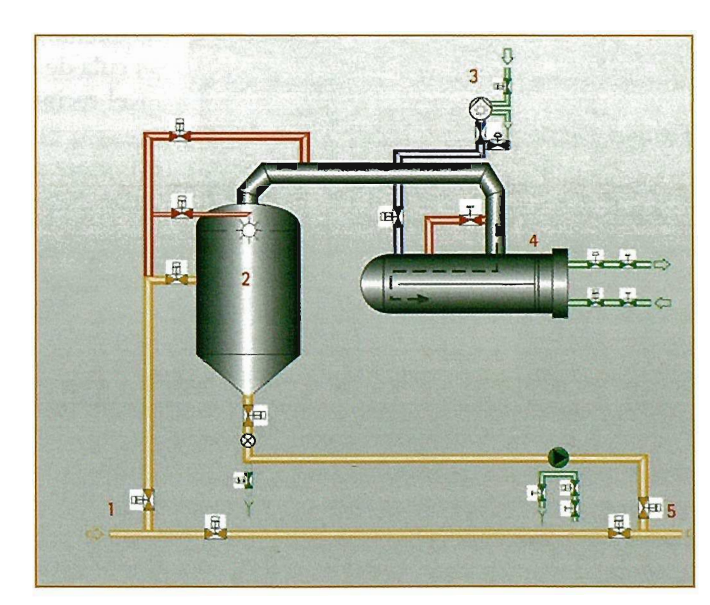


Figura 3.85f
Evaporación por vacío
(1) ingreso de mosto, (2) evaporador rápido, (3) bomba de vacío, (4) condensador de vahos

ción total hasta 40% y reducción del consumo de energía de 16%.

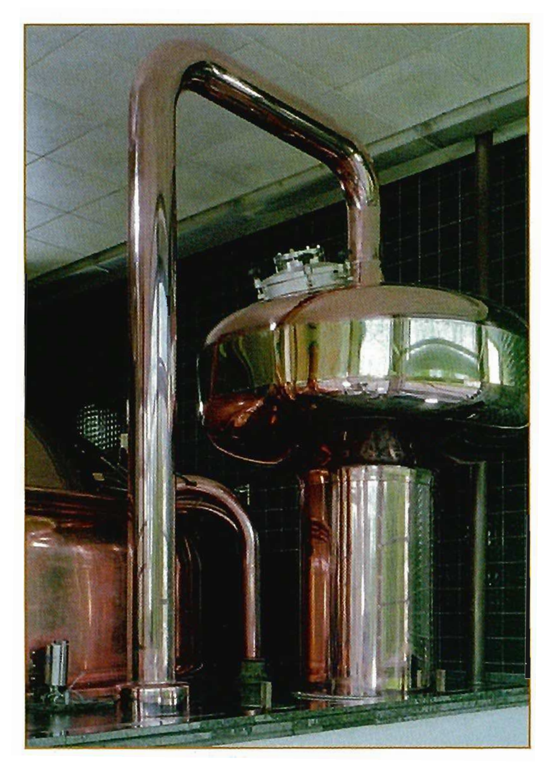


Figura 3.85g: "Schoko"

3.4.2.6.5 Proceso de cocción cuidadosa tipo „Schoko" (Kaspar Schulz, Bamberg)

En el proceso de cocción cuidadosa (Figura 3.85g), se subdivide el proceso de cocción en dos fases.

1. Una fase de mantenimiento de alta temperatura en la paila de mosto, para la isomerización del lúpulo, la separación de componentes proteicos y la formación de substancias que afectan el sabor y aromáticas. En esto, el mosto es mantenido durante aproximadamente 50 - 70 min a una temperatura de 97 a 99°C. La evaporación es aproximadamente 1%.
2. Una evaporación rápida en un evaporador construido especialmente con parte superior en forma de balón. A una presión absoluta de aproximadamente 300 mbar se evapora 3 a 6 % más de mosto, en dependencia de la presión ajustada. Para lograr esto, se introduce tangencialmente el mosto en la parte superior voluminosa del evaporador rápido. De esto se genera un movimiento rotatorio del mosto y una fina película de mosto, la cual corre hacia abajo en el recipiente alto, brindando con ello una

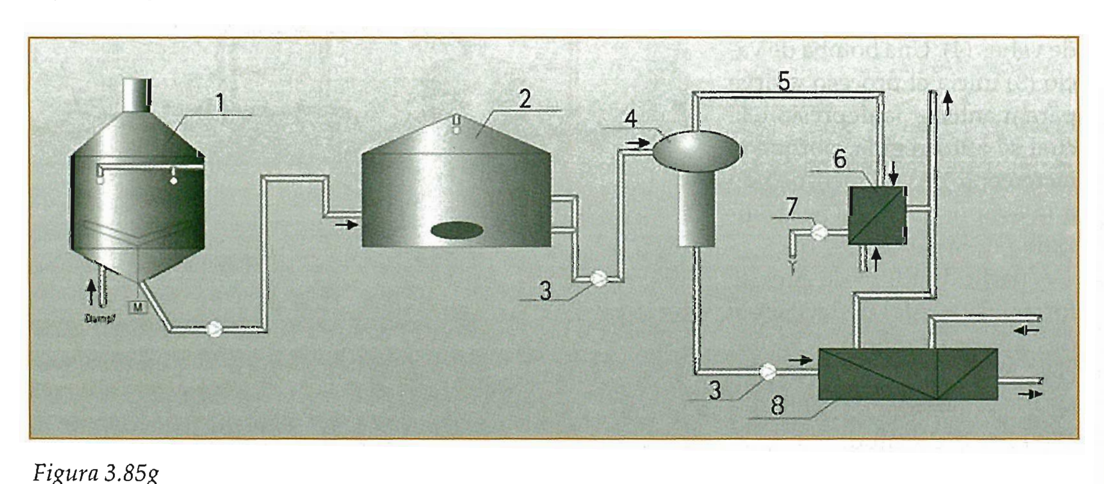


Figura 3.85g
Procesos de cocción cuidadosa tipo "Schoko"
(1) paila de mosto, (2) Whirlpool, (3) bomba de mosto, (4) evaporador rápido, (5) vahos, (6) condensador, (7) bomba de vacío, (8) refrigerador de mosto

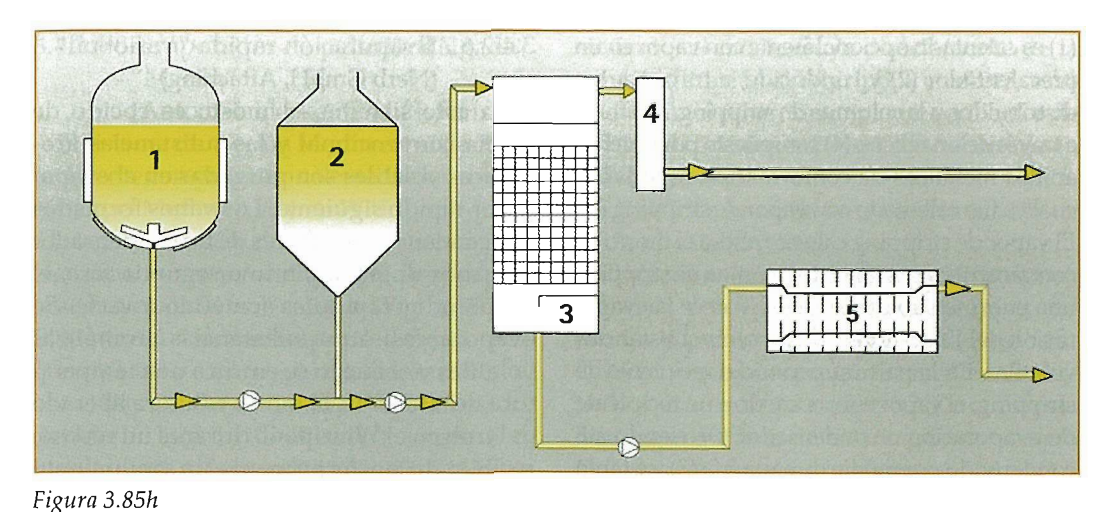


Figura 3.85h
Stripping del mosto
(1) paila de mosto, (2) Whirlpool, (3) columna de stripping, (4) recipiente de evaporación, (5) intercambiador de calor de placas

gran superficie para la evaporación de las substancias aromáticas.

Como resultado, el DMS libre es purgado ampliamente, la carga térmica del mosto es reducida a un mínimo y se alcanza una separación proteica no demasiado avanzada. Es posible un ajuste muy individual, de acuerdo con la definición del problema. El proceso ahorra hasta un 70% de energía primaria frente a un proceso de cocción convencional.

3.4.2.6.6 Stripping del mosto (Meura, Tournai, Bélgica)

Este sistema (Figura 3.85h) está compuesto por una paila de mosto (1), un tanque de sedimentación de trub caliente o Whirlpool (2), una columna de stripping (3) con recipiente de evaporación (condensador) (4) y un intercambiador de calor de placas (5). Luego de alcanzar la temperatura de cocción, el mosto se mantiene, bajo agitación leve, durante 30 a 50 min a 100°C y posteriormente es bombeado al recipiente de sedimentación o al Whirlpool.

Luego del reposo en el Whirlpool comienza el stripping en la columna de stripping (Figura 3.85i). El mosto (1) proveniente del Whirlpool

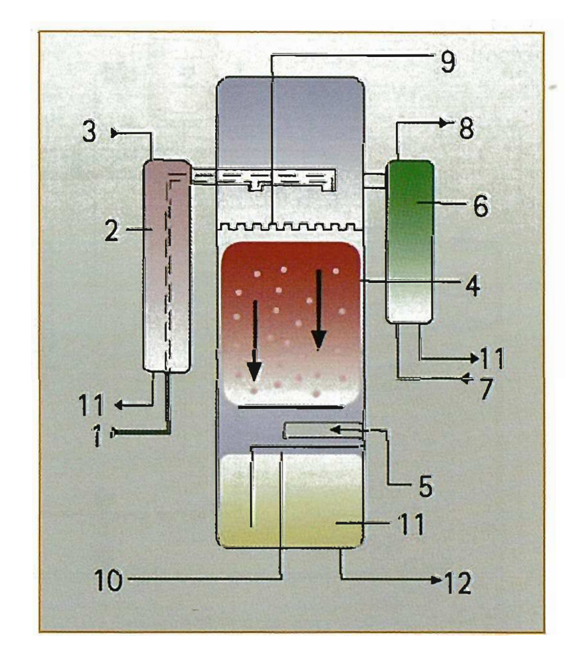


Figura 3.85i: Columna de stripping
(1) mosto del Whirlpool, (2) precalentador, (3) entrada de vapor, (4) relleno de la columna de stripping, (5) vapor de stripping, (6) condensador, (7) entrada de agua de refrigeración, (8) salida de agua de refrigeración, (9) salida de condensado (10) salida de mosto hacia el intercambiador de calor de placas

(1) es calentado opcionalmente con vapor en un precalentador (2) y conducido, a través de un distribuidor, a la columna de stripping. Allí fluye a través de un relleno (4) compuesto por muchos anillos metálicos de conformación especial, el cual ya fue calentado con vapor de stripping (5). El vapor de stripping calienta ahora el mosto en contracorriente y crea en la columna de stripping una enorme superficie, que favorece la evaporación del DMS libre y de las otras substancias volátiles. En la parte superior del recipiente de stripping, el vapor es conducido a un recipiente de evaporación o condensador (6), siendo allí condensado por medio de agua fría (7), en tanto que el mosto, en gran parte sin DMS libre, es extraído con la bomba (10).

3.4.2.6.7 Evaporación rápida "Varioboil" (Nerb GmbH, Attaching)

En este sistema, el mosto es cocido de forma convencional y las substancias aromáticas volátiles son purgadas en el evaporador rápido siguiente. Los vahos formados son condensados a través de un condensador de vahos de paila. En una segunda fase, el evaporador rápido es sometido a vacío. Se evaporan así otras substancias aromáticas volátiles y el mosto se enfría a una temperatura de 90 a 85°C. El mosto es ahora liberado del trub en el Whirlpool, durante un reposo, recibiendo posteriormente un tratamiento ulterior usual.

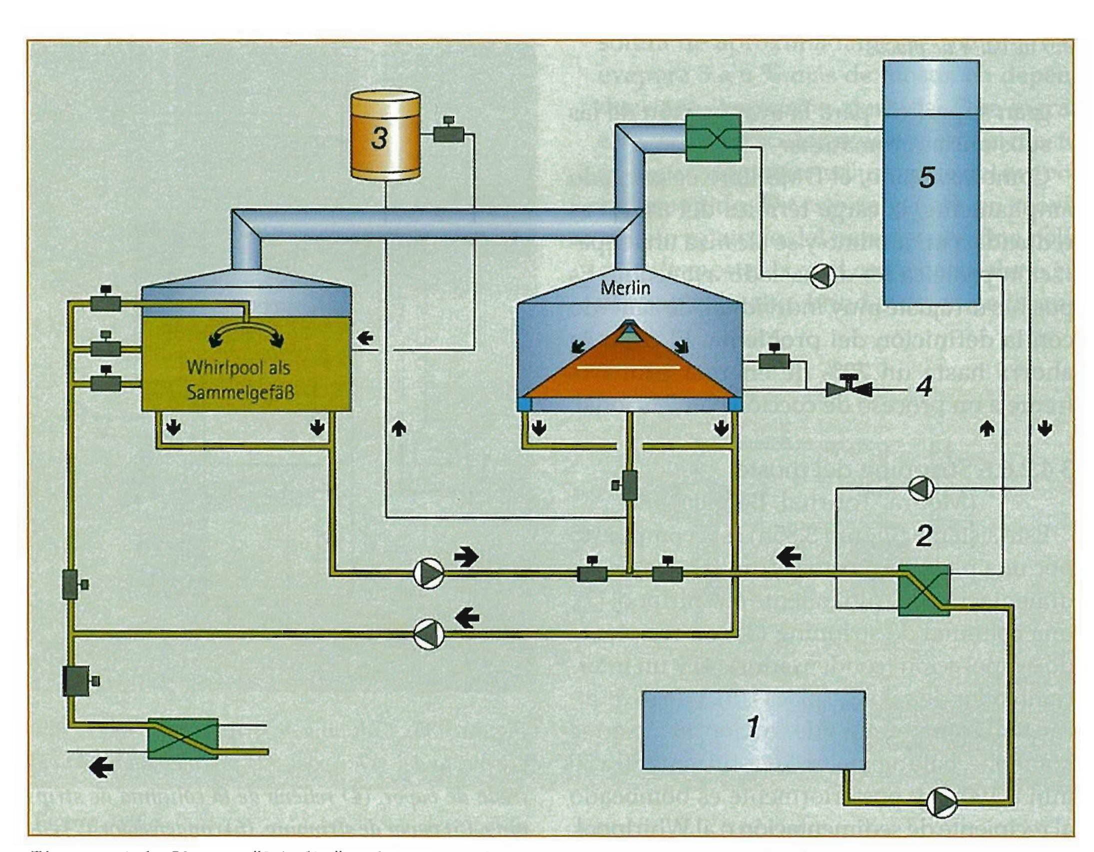


Figura 3.85k: Sistema "Merlin" - planta completa
(1) tanque recolector de mosto, (2) calentador de mosto, (3) recipiente de adición de lúpulo, (4) válvula reguladora de vapor, (5) tanque acumulador de energía

3.4.2.6.8 Evaporador de película delgada "Merlin"
(Anton Steinecker GmbH, Freising)

El sistema de cocción Merlin consiste de un recipiente con un fondo calentador levemente cónico, el Merlin en sí, y un Whirlpool, que es a la vez recipiente acumulador para todo el cocimiento, así como también el recipiente para la separación del trub caliente (Figura 3.85k). El Merlin en sí no tiene capacidad alguna, porque el mosto escurre permanentemente, tal como ingresa fluyendo. El fondo calentador del Merlin está dividido en dos, al menos en instalaciones más grandes, a los efectos de poder trabajar de forma diferenciada.

Secuencia de operación (Figura 3.85l):

▶ *Pos. A Llenado*

En el proceso Merlin, éste ocupa el lugar de la paila de mosto. Con ciclo reducido de cocimiento, el mosto fluye directamente de la cuba de filtración al Whirlpool; en el otro caso se debe intercalar un recipiente recolector de mosto. El cocimiento completo se acumula en el Whirlpool.

▶ ***Pos. B Calentamiento y mantenimiento de la alta temperatura***

El mosto es bombeado desde el Whirlpool, a través del fondo calentador cónico del Merlin. El mosto fluye sobre este fondo calentador como capa progresivamente más delgada y es calentado así a 99°C. Durante esta fase, ambas zonas de calentamiento son calentadas con una presión de vapor de 1,3 a 1,7 bar y el mosto es recirculado intensivamente 5 - 6 veces por hora. Es importante que la delgada película de mosto cubra también las partes periféricas en todo el fondo calentador. El mosto que retorna al Whirlpool es dispuesto en este último arriba en capas, a los efectos

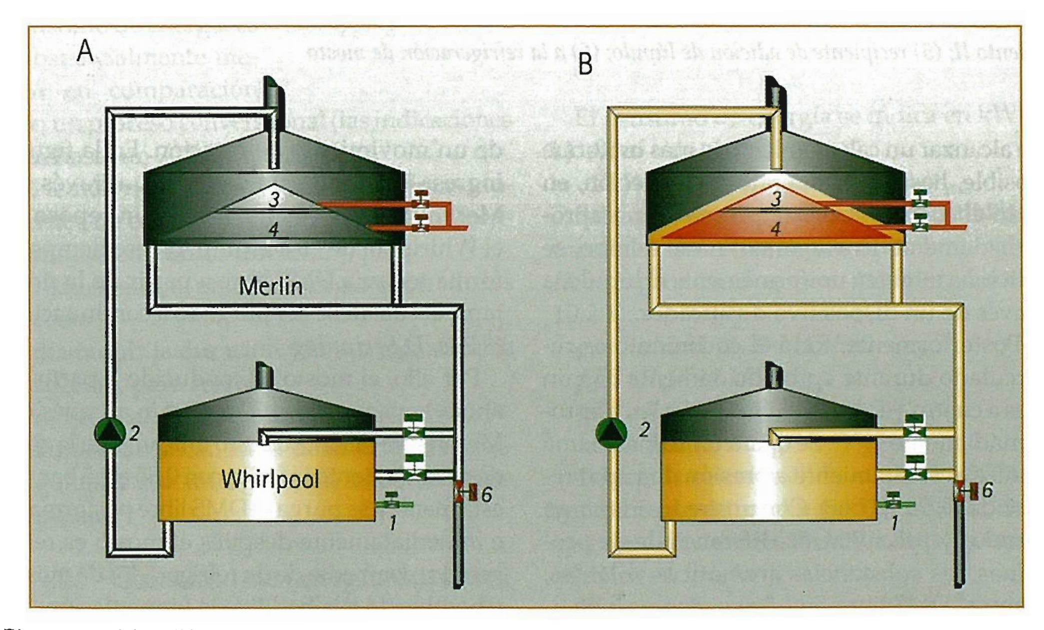


Figura 3.85l (A - B)
Evaporador de película delgada "Merlin" - Secuencia de operación
(A) llenado; (B) calentamiento y mantenimiento de alta temperatura;
(1) tubería de alimentación del mosto; (2) bomba de mosto; (3) zona de calentamiento I; (4) zona de calentamiento II; (5) recipiente de adición de lúpulo; (6) a la refrigeración de mosto

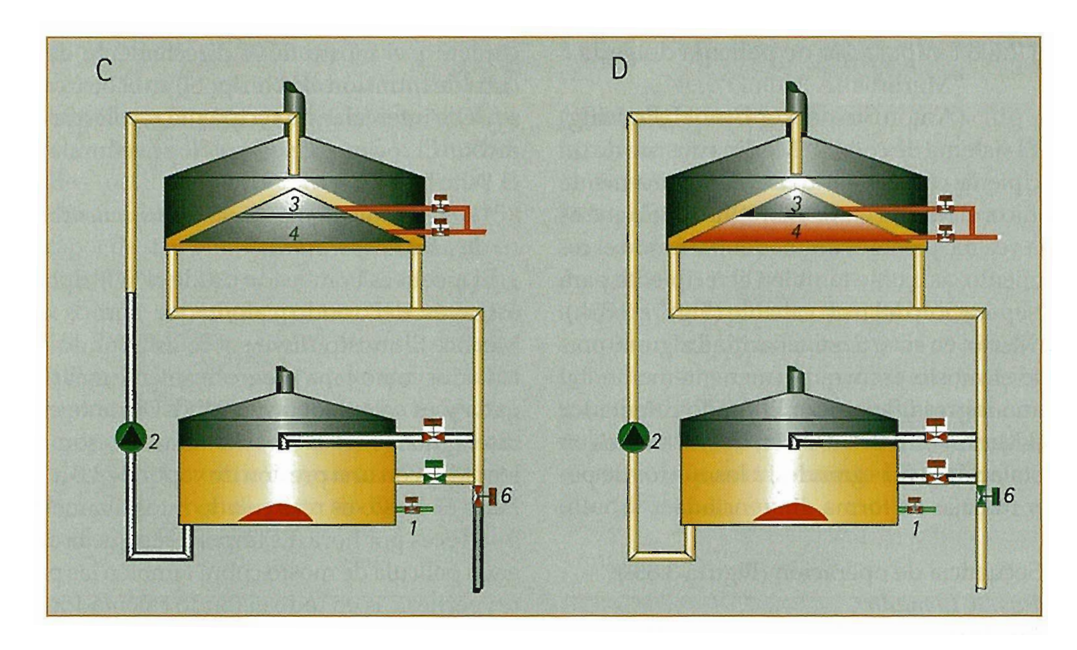


Figura 3.85l (C - D): Evaporador de película delgada "Merlin" - Secuencia de operación
(C) reposo en el Whirlpool; (D) stripping del mosto
(1) tubería de alimentación del mosto; (2) bomba de mosto; (3) zona de calentamiento I; (4) zona de calentamiento II; (5) recipiente de adición de lúpulo; (6) a la refrigeración de mosto

de alcanzar un calentamiento lo más uniforme posible, hasta la temperatura de cocción, en todo el cocimiento. Este proceso dura aproximadamente 15 a 20 min. En ese tiempo, se adiciona también uniformemente el lúpulo, a través de un dispositivo dosificador.

Posteriormente, todo el cocimiento es recirculado durante aproximadamente 35 min tres a cuatro veces, a través del Merlin, a aproximadamente 99°C. Se opera únicamente una zona de calentamiento a presión de vapor reducida (0,8 a 1,1 bar). Con una reducida carga térmica y precipitación diferenciada de proteínas, las substancias aromáticas volátiles, como el DMS libre, pueden evaporar bien.

▶ ***Pos. C Reposo en el Whirlpool***

A partir de la fase de cocción, el mosto es retornado al Whirlpool únicamente de forma tangencial, a los efectos de lograr una separación del cono de trub en el medio, a través de un movimiento de rotación. En la figura, ingresa justo un resto de mosto, a través del Merlin. Posteriormente ocurre un reposo en el Whirlpool de 20 a 25 min. En ese tiempo se forma todavía DMS libre a partir de la preetapa, el cual debe ser purgado a continuación.

▶ ***Pos. D Stripping***

Por ello, el mosto es conducido a partir de ahora lentamente en 30 a 45 min a través del Merlin y se calienta en esto únicamente la zona de calentamiento inferior con 0,85 a 1,5 bar. De esta manera se purga el DMS libre posformado e inmediatamente después el mosto es refrigerado, por medio de un refrigerador de mosto, y bombeado a la bodega de fermentación.

Vale la pena seguir en el diagrama de cocción del Merlin (Figura 3.85m) el curso de cada una de las curvas, que se diferencian básicamente del curso de las curvas de otros sistemas de cocción.

El proceso completo dura 120 a 145 min, según el tiempo de ciclo de cocimiento deseado. La carga térmica del mosto (expresada en el TBZ) es en estos procesos notablemente menor que en una cocción normal de mosto. El aumento de coloración es menor y el nitrógeno coagulable remanente en el mosto es notablemente mayor. También el DMS libre muestra valores bajos. En la espuma, se comprueban frecuentemente 10 puntos positivos, según R&C. El consumo de energía es substancialmente menor en comparación con un proceso convencional (las indicaciones van hasta un 70% de ahorro).

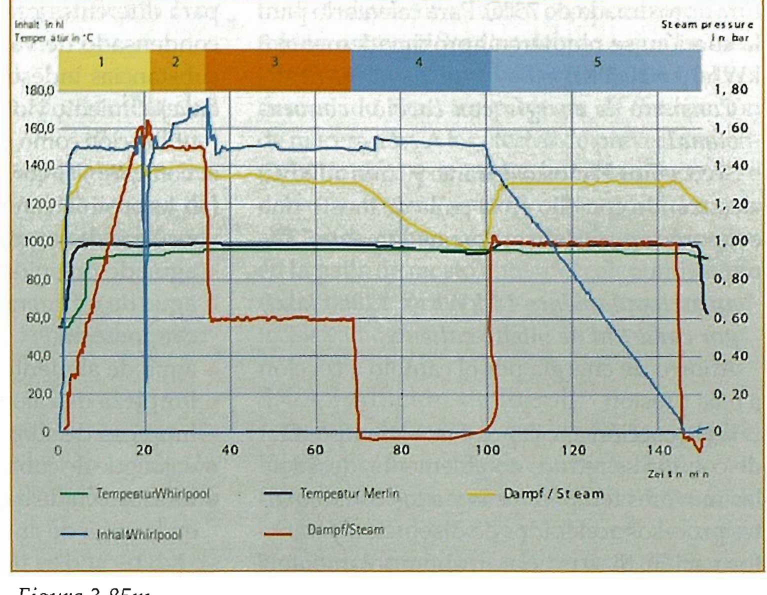


Figura 3.85m
Diagrama de cocción
(1) llenado, (2) calentamiento, (3) cocción, (4) reposo en el Whirlpool, (5) stripping

Hemos visto que en todos los sistemas modernos de cocción se realizan esfuerzos, centrándose en puntos diferentes, para

- reducir el consumo de energía y con ello los costos,
- disminuir la duración y la intensidad de la cocción, para con ello
- reducir la carga térmica del mosto, y
- aumentar la cantidad de substancias coagulables con nitrógeno, formadoras de espuma.

3.4.2.7 Consumo de energía durante la cocción del mosto

La paila de mosto es el mayor consumidor de energía en toda la fabricación del mosto. ¡Debe considerarse de forma muy precisa cómo mantener los costos energéticos lo más bajo posible, dado que la energía cuesta mucho dinero!

El consumo de energía se indica en kWh o kJ. Aquí vale

▶ ***1 kWh = 3,6 MJ = 860 kcal.***

Sabemos, también, que los combustibles comerciales tienen los siguientes valores caloríficos aproximados (ver también Sección 10.2.1):

gas natural 11,20 kWh/m3
fuel oil 10,14 kWh/l
fuel oil pesado 11,16 kWh/kg
hulla 8,95 kWh/kg

Podemos calcular en la sala de cocción un rendimiento de combustión de 80%. Es decir, que aproximadamente el 80% de la energía es efectiva en la sala de cocción.

El punto de partida de nuestra consideración es el consumo de energía que logramos con una paila convencional.

Consumo de energía en el calentamiento del mosto para la cocción

El mosto de paila llena tiene una tempera-

tura aproximada de 75°C. Para calentarlo para la cocción, se requieren aproximadamente 3 kWh/hl = 10,5 MJ

Consumo de energía con cocción convencional

Si cocemos el mosto durante 90 min a 100°C, alcanzando con ello en la paila de mosto una evaporación total de aproximadamente 12%, requerimos

aproximadamente 14 kWh (= 12000 kcal) por cada 1 hl de mosto caliente.

Ahorro de energía por el cambio a cocción a baja presión

En la cocción a baja presión, el tiempo total de cocción se reduce notablemente, debido a las mayores temperaturas y a los consecuentes procesos acelerados de disolución y transformación. Si se evaporan ahora solamente 5 a 7%, en lugar de los 12% (10 a 15) previos, se ahorran 6 kWh/hl de mosto caliente frente a la cocción convencional, de manera que se requieren en esto

aproximadamente 9kWh (= 7740 kcal) por cada 1 hl de mosto caliente. Esto es un gran ahorro, que ya sólo resulta de una disminución de la evaporación total.

Con la conversión a uno de los sistemas modernos de cocción de mosto continúa reduciéndose el consumo de energía, y no en último lugar debido a la reducción de la duración de cocción a 40 a 50 min y por reducción de la evaporación total a 4 a 5%.

3.4.2.8 Condensado de vahos

Durante la cocción del mosto se evapora una cantidad de agua, que se denomina vahos. Si no se hace nada, los vahos escapan a través de la chimenea. La molestia odorífera asociada con esto (regulada en Alemania por la Ley Federal de Protección contra Inmisiones) obliga a las fábricas de cerveza a condensar los vahos. Con esto no sólo se recupera una parte substancial de la energía contenida en los vahos (ver Sección 3.4.2.5.1), sino que al mismo tiempo se recupera también agua reutilizable para diferentes propósitos. Pero dado que el condensado de vahos contiene una serie de substancias indeseadas (DMS, carbonilos de envejecimiento y otros), no es aconsejable una reutilización como agua para cerveza [193]. Por el contrario, el condensado de vahos tratado (en lo posible con el proceso de ósmosis inversa) puede ser utilizado en otras áreas:

- agua de preenjuague para la limpieza CIP,
- agua de refrigeración en condensadores de evaporación,
- agua de alimentación para calderas,
- limpieza de cajones de cerveza,
- limpieza de silos de heces,
- enjuague de cubas de filtración y Whirlpool,
- lubricación de bandas de material sintético en la zona de envasado.

3.4.2.9 Tanque de espera (recipiente colector de mosto)

Los recipientes de maceración y la cuba de filtración están ocupados sólo el tiempo que duran la maceración y la filtración de mosto. Pero la paila de mosto debe estar a disposición desde el ingreso del primer mosto hasta el bombeo del mosto caliente, siendo por lo tanto el recipiente ocupado durante la mayor cantidad de tiempo. Si se realizan unos pocos cocimientos diarios, esto no tiene importancia. Pero si se cuece continuamente y se bombean 8 o más cocimientos por día, se entra en conflicto con la paila de cocimientos, porque ya tendría que ingresar primer mosto, mientras la paila todavía se encuentra ocupada.

Por eso, se ha pasado a intercalar entre la cuba de filtración y la paila de mosto un recipiente (calentado o bien aislado) colector de mosto como tanque de espera, para poder mantener el ritmo de bombeo de mosto caliente.

Es posible calentar el mosto, a través de un intercambiador de calor, durante el bombeo a la paila de mosto. Como medios de calentamiento son apropiados agua caliente, obtenida por ejemplo en el condensador de vahos de paila (ver Sección 3.4.2.5.3) o una inyec-

ción directa de vapor vivo purificado (ver Sección 3.2.2).

3.4.3 Realización de la cocción del mosto

Dos puntos de vista son especialmente importantes para la realización de la cocción del mosto, los cuales sin embargo están relacionados entre sí:

- la cocción del mosto, y
- la transformación de los compuestos amargos del lúpulo.

3.4.3.1 Cocción del mosto

Por lo general, se comienza con la cocción tan pronto como el mosto se encuentra en la paila.

La duración de la cocción es hoy en día de 40 a 50 (a veces también 60) min.

Se está interesado en no cocer durante demasiado tiempo ni demasiado intensivamente, porque

- las proteínas coagulables no deben ser separadas completamente,
- el DMS es purgado aun a pesar de ello.

Ello es debido a que los costos de energía aumentan con cada minuto de cocción y por ello no se cuece durante más tiempo que el estrictamente necesario. Sin embargo, deben tenerse en cuenta la disolución e isomerización de los compuestos amargos del lúpulo, los cuales también se disuelven más intensamente a medida que pasa el tiempo.

Sin embargo, es importante que el mosto haya alcanzado al final de la cocción, es decir al bombear el mosto caliente, el contenido deseado de extracto (ver Sección 3.4.1.3), porque sólo así se puede alcanzar el contenido de mosto original. ¡Debe prestarse atención a esto antes del inicio de la cocción!

Es también importante, verificar nuevamente, antes del inicio de la cocción, la sacarificación (sacarificación posterior) completa.

Es posible que durante la finalización de la maceración y la filtración del mosto hayan entrado todavía en solución componentes de almidón no sacarificados, debido a que las amilasas ya estaban inactivadas por la alta (¡tal vez demasiado alta!) temperatura de finalización de maceración. A los efectos de prevenir un enturbiamiento por engrudo en la cerveza, se debe causar una sacarificación posterior, por adición de primer mosto o de infusión de malta, en la paila de mosto antes del calentamiento o en la cava de fermentación. ¡Una corrección ulterior ya no será posible!

3.4.3.2 Adición de lúpulo

Durante la cocción del mosto, se agrega el lúpulo y se lo cuece con el mosto. Debido a la cocción, se logra una isomerización del α-ácido insoluble a iso-α-ácido soluble, con lo cual se genera un amargor en la cerveza. Es importante saber en esto:

- cuán grande debe ser la adición de lúpulo,
- cuándo se debe adicionar el lúpulo, y
- cómo se puede agregar el lúpulo al mosto.

3.4.3.2.1 Cálculo de la adición de lúpulo

Los esfuerzos son tendientes a alcanzar un amargor que corresponda al tipo de cerveza. El amargor se expresa en

unidades de amargor (IBU) = contenido de compuestos amargos en mg /l de cerveza.

Las unidades promedio de amargor y adiciones de compuestos amargos en cervezas alemanas son por ejemplo:

Tipo de cerveza	g de alfa-ácido/ hl de cerveza	Unidades de amargor
de trigo	5,0 - 7,0	14 - 20 IBU
Bock	6,0 - 8,0	19 - 23 IBU
Märzen	7,0 - 8,5	20 - 25 IBU
libre de alcohol	7,0 - 9,0	20 - 28 IBU
de exportación	7,5 - 11,0	22 - 30 IBU
Pilsener	10,0 - 16,0	28 - 40 IBU

Por lo tanto, si se quiere producir una cerveza con 32 IBU, se debe tratar de alcanzar 32 mg de compuestos amargos por cada l de cerveza.

El lúpulo es adicionado al mosto caliente. Este mosto se contrae en un 4% durante el enfriamiento (ver Sección 3.5.1.3). De ahora en más, la cantidad de lúpulo a adicionar debe ser calculada para el volumen de bombeo en frío.

Y algo más es importante: sólo una parte de los compuestos amargos introducidos pasa a la cerveza. Este rendimiento de compuestos amargos depende de la forma del proceso operacional (duración de cocción, presión, valor pH y otros) y varía generalmente entre 25 y 35%, referido a la cerveza producida. Quien mire correctamente la tabla, se dará cuenta de que la cantidad de α-ácido adicionada al mosto es siempre alrededor de un tercio de las unidades de amargor que se desean tener en la cerveza. Pero para una adición exacta, debe determinarse este rendimiento de compuestos amargos en la planta, por medio de ensayos.

Ejemplo:

Se bombean 360 hl de Pilsener y se desea alcanzar un valor de amargor de 32 IBU (EBC).

Pregunta: ¿Cuántos kg de α-ácido deben agregarse?

cantidad a bombear (caliente) = 360 hl

cantidad a bombear (fría) =

360·0,96 = 345,6 hl de mosto frío al bombear

cantidad deseada de compuestos amargos en la cerveza terminada:

32 IBU = 32 mg/l de cerveza = 3,2 g/hl de cerveza

para 1,0 hl = 3,2 g

para 345,6 hl = 1105,9 g

Se desean 1,106 kg de compuestos amargos en la cerveza.

Cantidad necesaria de compuestos amargos:

rendimiento de compuestos amargos = 31%

31% de rendimiento de compuestos amargos = 1,106 kg de α-ácido

100% de compuestos amargos $= \frac{1{,}106\ \text{kg} \cdot 100\%}{31} =$ = 3,57 kg de α-ácido.

Se deben adicionar 3,57 kg de α-ácido.

El siguiente paso consiste en repartir el α-ácido entre cada una de las adiciones y productos de lúpulo. Esto debe ser decidido por la fábrica de cerveza.

Quedándonos en nuestro ejemplo, podemos repartir los 3,57 kg de α-ácido combinando, por ejemplo

75%, formado por pellets tipo 45 con 9% de α-ácido, con
25%, formado por lúpulo natural con 7% de α-ácido.

Problema:

a) ¿Cuántos kg de polvo de lúpulo con 9% de α-ácido debemos adicionar?, y
b) ¿Cuántos kg de lúpulo natural con 7% de α-ácido debemos adicionar?

a) 100% = 3,57 kg
75% = x

$$x = \frac{3{,}57\ \text{kg} \cdot 75\%}{100\%}$$

x = 2,68 kg de α-ácido
9% = 2,68 kg
100% = x kg

$$x_1 = \frac{2{,}68\ \text{kg} \cdot 100\%}{9\%}$$

x = 29,78 kg de polvo de lúpulo con 9% de α-ácido

b) 100% = 3,57 kg
25% = x

$$x = \frac{3{,}57\ \text{kg} \cdot 25\%}{100\%}$$

x = 0,89 kg de α-ácido
7% = 0,89 kg

$$100\% = \frac{0{,}89\ \text{kg} \cdot 100\%}{7\%}$$

x_2 = 12,71 kg de lúpulo natural con 7% de α-ácido.

3.4.3.2.2 Composición y momento de la adición de lúpulo

Para la adición de lúpulo se dispone de tres productos diferentes:

- lúpulo natural,
- pellets de lúpulo, y
- extracto de lúpulo.

Hoy en día ya casi no existen diferencias de calidad entre estos productos, dado que todos los procesos de tratamiento son muy cuidadosos y se mantienen los componentes de lúpulo. Sin embargo, existen diferencias de calidad entre las diferentes variedades de lúpulo, como ya hemos visto (Sección 1.2.6).

Hoy en día, el tamaño y el equipamiento de la sala de cocción determinan qué productos se utilizan. Visto en forma global, puede verse un alejamiento progresivo del lúpulo natural, porque se producen heces de lúpulo, debido a su utilización, las cuales deben ser eliminadas.

Debe considerarse en la adición de lúpulo:

- en cuántas porciones (adiciones parciales) se adiciona el lúpulo
- cuándo se adicionan las porciones, y
- cuál variedad al principio, cuál al final.

Si se utilizan varias variedades, se adiciona siempre primero el lúpulo para dar amargor, para transformar al máximo su gran potencial de α-ácido. Aparte de ello, son purgados componentes indeseados (por ejemplo mirceno y otros). La primera adición sirve para dar amargor. Como primera adición, se debería adicionar el 75% del α-ácido, sobre todo lúpulo amargo o lúpulo de alto contenido de alfa-ácidos.

El lúpulo con el mejor aroma, el lúpulo aromático, se adiciona por último, al final de la cocción o recién en el Whirlpool, debiéndose disminuir la temperatura del Whirlpool a aproximadamente 80°C. De esta manera, las esencias de lúpulo nobles se mantienen para la cerveza, si esto es deseado para la cerveza en cuestión. Sin embargo, se debe prescindir en este caso del aprovechamiento máximo de los compuestos amargos.

Si se procede de esa manera, resulta una serie de ventajas [214]:

- mejor espuma de cerveza (hasta 10 puntos, según R&C)
- mayor rendimiento de iso-α-ácidos
- mayor ingreso de componentes aromáticos y
- mayor ingreso de α-ácido no isomerizado (aproximadamente 2,7 mg de α-ácido/l); por este motivo, mayor estabilidad microbiológica.

La decisión respecto de cuándo se realiza cual adición de lúpulo tiene influencia sobre la calidad de la cerveza en formación.

3.4.3.2.3 Adición del lúpulo - Sistemas dosificadores

Adición de lúpulo natural en forma de conos

A pesar de la tendencia decreciente, hay todavía muchas fábricas de cerveza en el ámbito mundial que adicionan lúpulo natural. Si se adiciona lúpulo en forma de conos, se debe intercalar, después del bombeo del mosto caliente, un cedazo de lúpulo o la cuba de filtración, a los efectos de eliminar las heces de lúpulo, lo cual sólo causa trabajo y pérdidas de mosto. Es por ello, que algunas fábricas de cerveza muelen el lúpulo muy finamente justo antes de la adición y separan las partículas finamente molidas con lo demás, en el Whirlpool.

Las heces de lúpulo pueden ser agregadas antes de filtrar el mosto para el próximo cocimiento y vendidas junto con las heces de la malta. Una descomposición de las heces de lúpulo para abono prácticamente no es posible.

Adición de polvos de lúpulo o pellets

Esta forma de tratamiento del lúpulo fue desarrollada con el propósito de tener también una manipulación sencilla y una forma estandarizada de los compuestos amargos y para poder mantener pequeño el volumen del almacén.

Los polvos de lúpulo y los pellets se obtienen comercialmente en latas, bolsas de lámina de material sintético con relleno de gas inerte, hardpack o cartones con laminado interior con componentes de hasta 150 kg.

Los pellets salen al mercado usualmente en paquetes estandarizados, rellenados con gas

inerte, los cuales no permiten un intercambio gaseoso, debido a la lámina de material compuesto. Por lo general, el contenido se indica en kg de α-ácido, para una mejor manipulación.

En las fábricas de cerveza más pequeñas, las latas o bolsas de lámina de material sintético son abiertas de forma manual, agregándose el contenido a la paila. Las latas vaciadas son retenidas en una jaula que se encuentra suspendida. Cuanto más grande es la fábrica de cerveza, tanto mayor es la exigencia de realizar la adición de forma automática, al trabajar con ciclos de cocimiento de 3 horas. Debe tenerse en cuenta, que en una sala de cocción de 10 t y 8 cocimientos diarios, se deben adicionar 2,5 a 3 dt de pellets.

Una de las variantes de dosificación consiste en llenar una vez por día varios recipientes dosificadores, cada uno con la cantidad requerida para un cocimiento, y vaciarlos posteriormente de forma automática en tiempos preestablecidos, por medio de enjuagues con mosto (Figura 3.86).

Procesamiento de extracto de lúpulo

La alta viscosidad del extracto de lúpulo debe ser reducida primeramente de forma substancial, para que sea más fluido, por calentamiento a una temperatura de 45 a 50°C. En algunos procesos, se rocía para ello la lata automáticamente con una solución rociadora caliente (agua o última agua) y el contenido se mantiene homogéneo mediante rotación permanente, adicionando las dosis al mosto en el momento predeterminado.

En el caso de contenedores grandes, debe calentarse el contenido completo del recipiente dentro de las 36 a 48 h a la temperatura prevista –en ningún caso, por encima de 50°C–, para que sea vaciado en forma líquida en un recipiente de mezcla, para poder ser dosificado después de la mezcla. También se practica la dosificación directa por masa, a través de una bomba de desplazamiento positivo.

En fábricas de cerveza más pequeñas, frecuentemente se perforan las latas sin haber sido precalentadas y se las vacía directamente en la paila durante la cocción. Las latas pueden ser retenidas en un canasto y extraídas fácilmente.

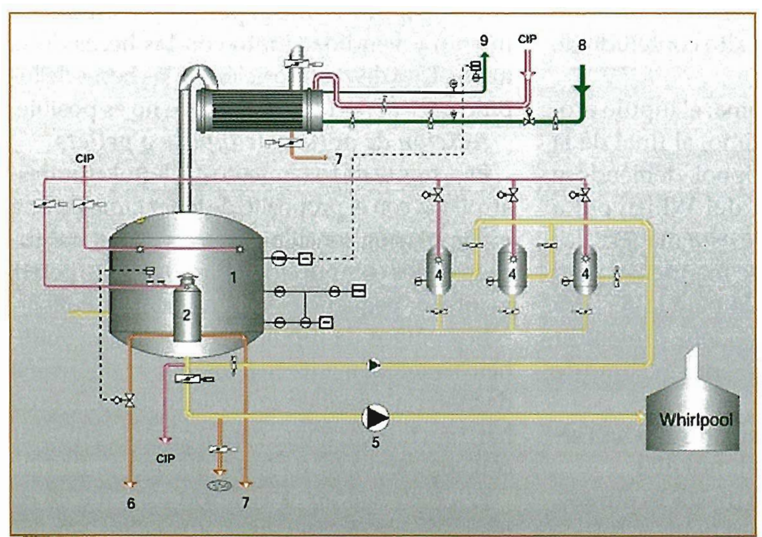


Figura 3.86
Paila de mosto con recipientes dosificadores de lúpulo
(1) paila de mosto
(2) cocedero interno
(3) condensador de vahos de paila
(4) recipientes dosificadores de lúpulo
(5) bomba de mosto caliente
(6) tubería de suministro de vapor
(7) descarga de condensado
(8) tubería de suministro de agua fría
(9) descarga de agua caliente

3.4.4 Control del mosto caliente

La cocción del mosto es finalizada con el bombeo del mosto caliente. En este punto se bombea el mosto al Whirlpool, por medio de una potente bomba de mosto caliente. Hasta ese momento, la persona a cargo de la cocción controla el mosto independientemente de los instrumentos instalados. Esto incluye

- ***el control de la brillantez del mosto;***

  a través de una mirilla, la persona encargada de la cocción examina el mosto delante de una fuente de luz, si éste tiene –tal como es deseado– un aspecto brillantemente claro y si nadan flóculos groseros en él.

- ***la sacarificación posterior, por medio de la prueba de yodo;***

  hemos visto, que es posible que partículas de almidón aun no disueltas entren en solución con el riego caliente, causando turbidez en la cerveza, si esto no es notado a tiempo.

- ***la cantidad de mosto caliente;***

  en las plantas antiguas, la persona a cargo de la cocción la mide con una regla de medición, o la determina a través de una regla flotante de medición. La cantidad de mosto caliente (o volumen de bombeo) es importante para la determinación del rendimiento y como evidencia de la cantidad producida frente a las autoridades impositivas. Si se posee un dispositivo calibrado de medición de mosto frío, se puede prescindir de la determinación de la cantidad de mosto caliente.

- ***el contenido de extracto de mosto caliente;***

  para esto, la persona a cargo de la cocción tiene una pequeña estación de control, en la cual mide el contenido de extracto (ver Sección 3.5.1.1). En instalaciones modernas, el contenido de extracto es determinado e indicado automáticamente (al respecto, ver Sección 7.5).

El mosto se llama ahora "mosto caliente". Su cantidad y su contenido de extracto son la base para la determinación del rendimiento de la sala de cocción.

La composición del mosto caliente tiene gran influencia sobre la calidad de la cerveza fabricada a partir del mismo. Los mostos calientes examinados por el Laboratorio Central de la VLB indicaban los siguientes promedios [200]:

valor pH	5,38	
color (mostos claros)	9,5	EBC
color (mostos oscuros)	43,00	EBC
unidades de amargor (Pils)	34,1	IBU
unidades de amargor (otros)	30,4 I	BU
nitrógeno total	1018	mg/l
nitrógeno coagulable	18	mg/l
nitrógeno precipitable con Mg	195	mg/l
aminonitrógeno libre (FAN)	190	mg/l
ensayo fotométrico de yodo	0,62	? E
viscosidad	1,76	mPa·s
sulfuro de dimetilo (DMS)	57	µg/l
preetapa de sulfuro de dimetilo	95	µg/l
TBZ mostos claros	46	
TBZ mostos oscuros	104	
contenido de cinc	0,19	mg/l
contenido de β-glucano	340	mg/l
contenido de trub en frío	200	mg/l
ácidos grasos:		
ácidos grasos de bajo peso molecular	0,8 mg/l	(0,3 - 3,8)
ácidos grasos saturados de alto peso molecular	0,4 mg/l	(0,0 - 1,9)
ácidos grasos insaturados de alto peso molecular	0,4 mg/l	(0,0 - 1,1)

ΔE= diferencia en la coloración de una muestra precipitada con etanol contra una solución para el ensayo en blanco.

3.5 Rendimiento de la sala de cocción

El rendimiento de la sala de cocción indica qué porcentaje de la cantidad de carga se encuentra como cantidad de extracto en el mosto caliente. De esta manera, el rendimiento de la sala de cocción es un importante criterio interno de planta para medir la eficiencia del trabajo de la sala de cocción.

En muchos países, las autoridades impositivas también se interesan por el rendimiento de la sala de cocción, porque sólo ahí se puede determinar la cantidad total de extracto for-

mada. La mayor parte de este extracto desaparece más tarde, durante la fermentación, por transformación en alcohol y CO_2, de manera que sólo queda una reducida porción en la cerveza. Sin embargo, veremos que se puede determinar también a partir de la cerveza terminada el contenido de extracto del así llamado "mosto original". Pero la cantidad total de extracto producida sólo se puede registrar a través del rendimiento de la sala de cocción.

3.5.1 Cálculo del rendimiento de la sala de cocción

En las fábricas modernas de cerveza, el rendimiento de la sala de cocción es calculado automáticamente sobre la base de los valores determinados. La siguiente sección informa sobre los pasos de razonamiento y operación para la determinación del rendimiento de la sala de cocción, los cuales también todavía deben ser realizados en fábricas de cerveza más antiguas y pequeñas.

Con el rendimiento de la sala de cocción se determina qué porcentaje de la masa de carga utilizada se encuentra como masa de extracto en la paila de mosto. Este porcentaje (rendimiento de la sala de cocción) se encuentra en el orden de 75 a 80%.

Para el cálculo del rendimiento de la sala de cocción son necesarios:

- la cantidad de carga utilizada,
- la determinación de los porcentajes másicos por hidrómetro (densímetro), y
- la determinación del volumen de bombeo.

La cantidad de carga utilizada fue determinada de forma precisa por la balanza automática y registrada por ordenador o en el informe de cocción. La cantidad de carga es nuestro valor de partida para el cálculo del rendimiento.

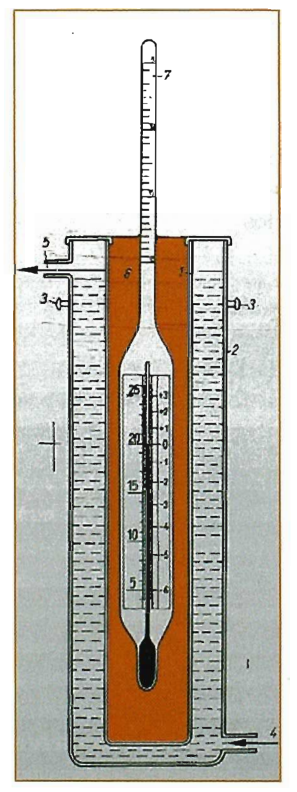


Figura 3.87
Hidrómetro de mosto en el cilindro de hidrómetro
(1) cilindro de hidrómetro
(2) camisa enfriadora
(3) dispositivo de suspensión vertical
(4) entrada de agua de refrigeración
(5) salida de agua de refrigeración
(6) mosto caliente
(7) hidrómetro

3.5.1.1 Determinación de los porcentajes másicos

La determinación de los porcentajes másicos se realiza con ayuda de un hidrómetro (Figura 3.87). El hidrómetro es un cuerpo flotante y trabaja según el principio de los aerómetros: cuanto más específicamente liviano es un líquido, tanto más se sumerge el hidrómetro. En el cuello fino del hidrómetro se encuentra ubicada una escala que indica los porcentajes másicos. Dado que los hidrómetros fueron calibrados primeramente usando azúcar (= solución de sacarosa) se los llama también sacarómetros.

La medición es realizada a aproximadamente 20°C. Para ello, se pone una pequeña cantidad del mosto caliente terminado en un cilindro metálico –frecuentemente suspendido en cardán–, el cual dispone de una refrigeración de camisa, para enfriar a aproximadamente 20°C. Por supuesto, el mosto no debe ser diluido en este proceso. Se debe evitar, de igual modo, que se evapore agua y que

se concentre el mosto. La lectura del hidrómetro se realiza en el punto en que el mismo asoma en el mosto.

La lectura del hidrómetro requiere de práctica, porque es imposible realizar la lectura debajo del nivel de líquido, a través del cilindro metálico, y porque el líquido se eleva un poco por el cuello del hidrómetro. A raíz de ello, las líneas más altas aparecen un poco contraídas. Como valor de hidrómetro, vale el valor más alto aún legible claramente.

La lectura de los hidrómetros en la sala de cocción se realiza por arriba. En el laboratorio se utilizan también hidrómetros con lectura por abajo, dado que allí se utilizan cilindros de vidrio. ***En el hidrómetro siempre se indica si está calibrado para lectura por abajo o por arriba.***

Para obtener un resultado de medición lo más preciso posible, el mosto no debe ser modificado en su concentración. Consecuentemente, no se debe enjuagar el hidrómetro con agua u otro líquido que no sea el mosto que va a ser medido. Antes de la medición, el contenido del hidrómetro debe ser bien mezclado con una varilla de mezcla limpia y seca, respectivamente enjuagada con mosto, a los efectos de evitar diferencias de temperatura. Debe cuidarse de no hundir demasiado el hidrómetro, porque en ese caso el mosto se adhiere al cuello del hidrómetro y lo tira hacia abajo, lo cual causa una lectura incorrecta. El hidrómetro seco es tomado cuidadosamente del extremo y sumergido lentamente hasta aproximadamente el valor que es dable de esperar. La espuma que se forma debe ser abatida por soplado.

El hidrómetro está calibrado a 20°C. Si la temperatura de medición se desvía de 20°C, se debe realizar una corrección del valor de hidrómetro. Este valor de corrección depende de la temperatura del mosto. Si el mosto se encuentra a una temperatura mayor que 20°C, entonces tendrá una densidad menor que la que tendría a 20°C. De acuerdo con esto, se debe adicionar el valor de corrección y, por el contrario, debe ser substraído a menores temperaturas.

Por ello, se encuentra incorporado un termómetro en la parte inferior del hidrómetro. El valor de corrección se obtiene extrayendo el hidrómetro de manera que únicamente la punta se encuentre sumergida. Del otro lado de la escala termométrica se encuentran números en rojo y líneas. En la Figura 3.88, los números del lado derecho corresponden a estos números en rojo. Los números indicados significan la reducción termométrica en décimas porcentuales, con la cual debe ser corregido el valor de hidrómetro.

Ejemplo:	
lectura de hidrómetro:	11,6%
corrección:	-0,2%
porcentaje másico:	11,4%

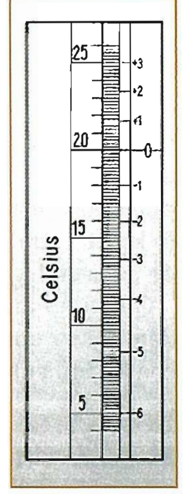


Figura 3.88
Termómetro de hidrómetro para sacarómetro 10-15% con escala de corrección

La indicación corregida del hidrómetro muestra cuantos kg de extracto están componentes en 100 kg de mosto a 20°C.

En nuestro caso, esto es 11,4 kg de extracto en 100 kg = 1 dt de mosto (20°C).

3.5.1.2 Determinación de la masa de extracto por cada 1 hl de mosto (contenido de extracto de 1 hl de mosto)

Prácticamente no se necesita nunca la masa del extracto en 1 dt de mosto, sino la masa del extracto en 1 hl de mosto, porque la cantidad

de mosto siempre es determinada en hectolitros.

La conversión se realiza con la densidad del mosto:

contenido de extracto en kg/dt x densidad = contenido de extracto en $\frac{kg}{hl}$

La densidad de una substancia depende de la temperatura y de la presión. Es por eso que en cada indicación de densidad debe expresarse la temperatura de medición, en tanto que la indicación de presión puede ser despreciada en los líquidos.

Para nuestra conversión a kg de extracto en 100 l de mosto utilizamos la densidad (E) a 20°C, referida a agua a 4°C (abreviado: d 20/4). En la Tabla de Extracto de Azúcar de la Comisión de Normas de Calibración, según Plato, se encuentran indicados los correspondientes g de extracto, a la centésima de porcentaje másico, por cada 100 ml a 20°C (= kg de extracto por cada 1 hl)(ver extracto de tabla en Figura 3.89):

Quien no tenga una tabla a mano, puede determinar también la densidad de acuerdo con la siguiente fórmula empírica:

una solución de porcentaje másico	tiene una densidad de
0 (agua)	1,000 g/ml
1	1,004 g/ml
2	1,008 g/ml etc.

De acuerdo con esto, se obtiene el valor numérico de la densidad calculando:

densidad = (porcentaje másico·0,004) + 1

En nuestro ejemplo: 11,4·0,004 + 1 = 1,0456

La tabla según Plato muestra 1,04395.

Si bien la diferencia es pequeña, es demasiado grande para cálculos precisos.

En la tabla simplificada que se muestra para el trabajo diario estimativo, se han sacado los valores correspondientes a la densidad y se indica

- el correspondiente valor en g de extracto / 100 ml de mosto (% convertido),
- para cada décima porcentual másica.

Quedándonos ahora en nuestro ejemplo, leemos entonces que, para 11,4 % másico, el valor en la columna "% convertido g en 100 ml a 20°C" es 11,90.

Es decir, que en 100 ml de este mosto a 20°C hay componentes 11,90 g de extracto, correspondiendo éstos a 11,90 kg de extracto en 1 hl de mosto (a 20°C).

Densidad original (20°C/20°C)	Porcentaje en peso (g en 100 g)	Densidad relativa (20°C/4°C)	Porcentaje calculado en volumen g en 100 ml a 20°C	Densidad original (20°C/20°C)	Porcentaje en peso (g en 100 g)	Densidad relativa (20°C/4°C)	Porcentaje calculado en volumen g en 100 ml a 20°C
1	2	3	4	1	2	3	4
1,04419	11,00	1,04229	11,47	1,04628	11,50	1,04437	12,01
423	01	233	48	632	51	441	02
427	02	237	49	640	53	450	04
431	03	241	11,50	645	54	454	05
436	04	245	51	645	54	454	05
440	05	250	52	649	55	458	06
444	06	254	53	653	56	462	08

Figura 3.89:
Tabla para la determinación de los porcentajes en peso y porcentajes convertidos (extracto de la tabla total)

Tabla para la conversión de los porcentajes másicos en porcentajes convertidos y factor de rendimiento

Porcentaje másico g en100 g	Porcentaje convertido g en 100 ml a 20°C	Factor de rendi-miento	Porcentaje másico g en100 g	Porcentaje convertido g en 100 ml a 20°C	Factor de rendi-miento
0,1	0,10	0,10	4,1	4,16	3,99
0,2	0,20	0,19	4,2	4,26	4,09
0,3	0,30	0,29	4,3	4,36	4,19
0,4	0,40	0,38	4,4	4,47	4,29
0,5	0,50	0,48	4,5	4,57	4,39
0,6	0,60	0,58	4,6	4,67	4,49
0,7	0,70	0,67	4,7	4,78	4,59
0,8	0,80	0,77	4,8	4,88	4,69
0,9	0,90	0,86	4,9	4,99	4,79
1,0	1,00	0,96	5,0	5,09	4,89
1,1	1,10	1,06	5,1	5,19	4,99
1,2	1,20	1,15	5,2	5,30	5,09
1,3	1,30	1,25	5,3	5,40	5,18
1,4	1,41	1,35	5,4	5,51	5,29
1,5	1,51	1,45	5,5	5,61	5,39
1,6	1,61	1,55	5,6	5,71	5,48
1,7	1,71	1,64	5,7	5,82	5,58
1,8	1,81	1,74	5,8	5,92	5,68
1,9	1,91	1,83	5,9	6,03	5,79
2,0	2,01	1,93	6,0	6,13	5,89
2,1	2,11	2,03	6,1	6,24	5,99
2,2	2,21	2,13	6,2	6,34	6,09
2,3	2,32	2,23	6,3	6,45	6,19
2,4	2,42	2,32	6,4	6,55	6,29
2,5	2,52	2,42	6,5	6,66	6,39
2,6	2,62	2,52	6,6	6,76	6,49
2,7	2,72	2,61	6,7	6,87	6,59
2,8	2,83	2,71	6,8	6,97	6,69
2,9	2,93	2,81	6,9	7,08	6,80
3,0	3,03	2,91	7,0	7,18	6,90
3,1	3,13	3,01	7,1	7,29	7,00
3,2	3,23	3,10	7,2	7,39	7,10
3,3	3,34	3,20	7,3	7,50	7,20
3,4	3,44	3,30	7,4	7,60	7,30
3,5	3,54	3,40	7,5	7,71	7,40
3,6	3,64	3,50	7,6	7,82	7,51
3,7	3,75	3,60	7,7	7,92	7,61
3,8	3,85	3,70	7,8	8,03	7,71
3,9	3,95	3,79	7,9	8,13	7,81
4,0	4,06	3,90	8,0	8,24	7,91

3

Porcentaje másico g en100 g	Porcentaje convertido g en 100 ml a 20°C	Factor de rendimiento	Porcentaje másico g en100 g	Porcentaje convertido g en 100 ml a 20°C	Factor de rendimiento
8,1	8,35	8,02	12,3	12,89	12,38
8,2	8,45	8,12	12,4	13,00	12,48
8,3	8,56	8,22	12,5	13,11	12,59
8,4	8,67	8,32	12,6	13,22	12,69
8,5	8,77	8,42	12,7	13,33	12,80
8,6	8,88	8,53	12,8	13,44	12,90
8,7	8,99	8,63	12,9	13,55	13,01
8,8	9,09	8,73	13,0	13,66	13,11
8,9	9,20	8,83	13,1	13,77	13,22
9,0	9,31	8,94	13,2	13,88	13,32
9,1	9,41	9,04	13,3	13,99	13,43
9,2	9,52	9,14	13,4	14,10	13,54
9,3	9,63	9,25	13,5	14,21	13,64
9,4	9,74	9,35	13,6	14,32	13,75
9,5	9,84	9,45	13,7	14,43	13,85
9,6	9,95	9,55	13,8	14,55	13,97
9,7	10,06	9,66	13,9	14,66	14,07
9,8	10,17	9,76	14,0	14,77	14,18
9,9	10,27	9,86	14,1	14,88	14,28
10,0	10,38	9,97	14,2	14,99	14,39
10,1	10,49	10,07	14,3	15,10	14,50
10,2	10,60	10,18	14,4	15,22	14,61
10,3	10,71	10,28	14,5	15,33	14,72
10,4	10,81	10,38	14,6	15,44	14,82
10,5	10,92	10,49	14,7	15,55	14,93
10,6	11,03	10,59	14,8	15,66	15,03
10,7	11,14	10,70	14,9	15,78	15,14
10,8	11,25	10,80	15,0	15,89	15,25
10,9	11,36	10,91	15,1	16,00	15,36
11,0	11,47	11,01	15,2	16,11	15,47
11,1	11,57	11,11	15,3	16,22	15,57
11,2	11,68	11,22	15,4	16,34	15,69
11,3	11,79	11,32	15,5	16,45	15,79
11,4	11,90	11,42	15,6	16,56	15,90
11,5	12,01	11,53	15,7	16,68	16,00
11,6	12,12	11,63	15,8	16,79	16,11
11,7	12,23	11,74	15,9	16,90	16,22
11,8	12,34	11,85	16,0	17,02	16,34
11,9	12,45	11,95	16,1	17,13	16,45
12,0	12,56	12,06	16,2	17,24	16,56
12,1	12,67	12,17	16,3	17,36	16,67
12,2	12,78	12,27	16,4	17,47	16,77

Porcentaje másico g en100 g	Porcentaje convertido g en 100 ml a 20°C	Factor de rendimiento
16,5	17,58	16,88
16,6	17,70	16,99
16,7	17,81	17,10
16,8	17,92	17,21
16,9	18,04	17,32
17,0	18,15	17,43
17,1	18,27	17,54
17,2	18,38	17,65
17,3	18,50	17,76
17,4	18,61	17,87
17,5	18,72	17,97
17,6	18,84	18,08
17,7	18,95	18,19
17,8	19,07	18,31
17,9	19,18	18,42
18,0	19,30	18,53
18,1	19,41	18,64
18,2	19,53	18,75
18,3	19,64	18,86
18,4	19,76	18,97
18,5	19,88	19,08
18,6	19,99	19,19
18,7	20,11	19,31
18,8	20,22	19,42
18,9	20,34	19,53
19,0	20,45	19,64
19,1	20,57	19,75
19,2	20,69	19,86
19,3	20,80	19,97
19,4	20,92	20,08
19,5	21,04	20,20
19,6	21,15	20,31
19,7	21,27	20,42
19,8	21,39	20,53
19,9	21,50	20,64
20,0	21,62	20,76

En la literatura más antigua todavía se indican los porcentajes másicos como porcentajes en peso.

3.5.1.3 Conversión del volumen de mosto caliente terminado en volumen de mosto frío

Al final de la cocción del mosto, se determina de forma precisa la cantidad de mosto caliente, con la regla de medición. Para ello, el nivel de mosto debe encontrarse totalmente calmo. La regla de medición está calibrada para el contenido de la paila y debe ser utilizada en el lugar previsto para la medición. La calibración de la paila de mosto, la cual es decisiva para la determinación de un rendimiento preciso de la sala de cocción, se realiza por medición directa.

Para la aceptación del cocimiento desde el punto de vista impositivo, se permite también la medición de mosto frío, a través de una medición inductiva de caudal calibrada.

Ejemplo:

En nuestro ejemplo se descargaron 264 hl. Pero la medición se realizó a 100°C, donde la lectura del hidrómetro ocurre a 20°C.

Pero si los 264 hl se enfrían a 20°C (¡sin que nada se evapore!), queda un 96% de la cantidad original: el mosto se contrajo en un 4%. Si el mosto enfriado se calentara nuevamente a 100°C, habría nuevamente 264 hl.

Al mismo tiempo, se tiene en cuenta en este 4% que se miden también las cantidades de heces de lúpulo y los flóculos de proteínas, aunque no pertenecen al extracto.

La conversión del volumen del mosto caliente terminado en volumen de mosto frío (a 20°C, dado que a esa temperatura se ha realizado la lectura del hidrómetro) se realiza multiplicando por 0,96.

▶ ***El factor 0,96 se llama factor de contracción o de corrección.***

Así, se forma en nuestro ejemplo, a partir de los 264 hl existentes de mosto caliente terminado

264 hl·0,96 = 253,44 hl mosto frío terminado a 20°C.

Por supuesto, que el 4% indicado no es muy exacto, porque también la cantidad de mosto

caliente terminado fue determinada aproximadamente un 0,2% menor, debido a la dilatación de la paila. Por otro lado, la forma en que se adiciona el lúpulo también juega un papel. En el lúpulo natural, se puede asumir que las heces de lúpulo incrementan el valor numérico en aproximadamente 0,2%. Pero en el caso de polvo, pellets o hasta extracto, esto ya es totalmente diferente.

Dado que el rendimiento de la sala de cocción es en primer lugar una cifra de control interna de planta, la desviación carece de importancia, si se mantiene la misma composición de lúpulo.

3.5.1.4 Cálculo de la cantidad de extracto obtenida en la sala de cocción

En nuestro ejemplo, 1 hl de nuestro mosto a 20°C contiene 11,90 kg de extracto y los 253,44 hl del mosto a esa temperatura contienen 3015,94 kg de extracto. Por lo tanto, se han obtenido 3015,94 kg de extracto.

La fórmula para la cantidad de extracto obtenida en la sala de cocción es, por lo tanto:

cantidad de extracto [kg] =
contenido de extracto [kg/dt] · E · 0,96 · volumen de bombeo [hl], donde E representa la densidad (d 20/4)

Dado que el factor de corrección 0,96 es fijo, se lo incluyó en la tabla de Plato, y los valores

contenido de extracto [kg/dt] · E · 0,96 forman colectivamente el factor de rendimiento.

Por lo tanto, en el ejemplo sólo se requiere buscar en la tabla el valor del contenido de extracto [kg/dt], encontrándose en la última columna "Factor de rendimiento" el valor 11,42.

En nuestro ejemplo se obtuvieron entonces
volumen de bombeo · factor de rendimiento = masa de extracto [kg]
264 · 11,42 = 3014,88 kg de extracto.

La determinación de la cantidad de extracto producida es importante como valor de partida para el cálculo de la merma de extracto en el procesamiento ulterior.

3.5.1.5 Determinación del rendimiento de la sala de cocción (Rsc)

Para la determinación del rendimiento de la sala de cocción se relaciona la cantidad de extracto producida con la cantidad de carga utilizada. En esto se asume que

masa de carga [kg] = 100%
masa de extracto [kg]=x% de ésta = rendim. [%].

De acuerdo con esto, el rendimiento de la sala de cocción Rsc se calcula

$$R_{sc} = \frac{\text{masa de extracto [kg]} \cdot 100\%}{\text{carga [kg]}}$$

A los efectos de simplificación, se elimina el 100 contra dos decimales de la carga, expresando ésta en decitoneladas. El cálculo de la masa de extracto ya fue descripto, de manera que resulta la siguiente fórmula para el cálculo del rendimiento de la sala de cocción:

$$R_{sc} = \frac{\text{contenido de extracto [kg/dt]} \cdot E \cdot 0{,}96 \cdot \text{volumen de bombeo [hl]}}{\text{carga [dt]}}$$

o abreviado:

$$R_{sc} = \frac{\text{factor de rendimiento [kg/dt]} \cdot \text{volumen de bombeo [hl]}}{\text{carga [dt]}}$$

En nuestro ejemplo se han necesitado 40 dt de carga para 3015 kg de extracto. El Rsc es en este caso

$$R_{sc} = \frac{3015 \text{ kg} \cdot 100\%}{4000 \text{ kg}} = 75{,}37\% = 75{,}4\%$$

3.5.2 Factores que afectan el rendimiento de la sala de cocción

El rendimiento de la sala de cocción depende de

- las materias primas,
- el equipamiento de la sala de cocción,
- el proceso de maceración,
- el trabajo de filtración, y
- de la forma de operación.

El rendimiento se encuentra entre 74 y 79%. Debe ser lo más alto posible y a lo sumo un % menor que el rendimiento (secado al aire) de laboratorio de la harina fina de malta.

▶ *Materias primas*

Las maltas tienen rendimientos variables y por ello se prefieren mucho más las maltas ricas en extractos. Las maltas pobremente modificadas tienen rendimientos menores que maltas bien modificadas. Dado que la carga siempre se indica como secada al aire, el contenido de agua de la malta influye sobre el rendimiento: con contenido creciente de agua, disminuye el rendimiento. Las aguas ricas en carbonatos reducen el rendimiento. Las aguas ricas en sulfatos y las aguas muy blandas mejoran, debido a su naturaleza reductora de valor pH, el trabajo de las enzimas y con ello el rendimiento.

▶ *Equipamiento de la sala de cocción*

Las salas modernas de cocción están diseñadas para lograr un elevado rendimiento con una buena calidad de mosto y disponen para ello de una serie de dispositivos suplementarios, en especial para obtener la extracción más completa posible, por lavado de las heces. Por ello, tienen mejor rendimiento que las antiguas salas de cocción convencionales.

La calidad de una sala de cocción se mide también en la diferencia entre el rendimiento alcanzado y el rendimiento de laboratorio. Esta diferencia es muy baja en las salas modernas de cocción.

▶ *Proceso de maceración*

Un proceso de maceración más prolongado y más intensivo da un mayor rendimiento. Por medio de una cocción más prolongada de la templa espesa, se forma más extracto. Por medio de premezcla y cocción de la templa bajo presión, aumenta el rendimiento, pero a costa de la calidad. La relación entre colada principal y colada secundaria es importante, porque en el caso de una colada principal grande no se puede extraer correctamente por lavado el extracto y consecuentemente disminuye el rendimiento.

▶ *Trabajo de filtración*

Un riego no uniforme y un flujo desigual a través de las válvulas de filtración resultan en pérdidas de rendimiento.

Varias pequeñas coladas secundarias dan un rendimiento más elevado que un riego continuo. El trabajo de filtración se refleja en la cantidad de extracto extraíble por lavado que ha quedado retenido en las heces (ver Sección 3.3.6.2). Por medio de la utilización de la última agua como agua de mezcla para el próximo cocimiento se mejora un poco el rendimiento, pero no la calidad.

▶ *Forma de operación*

Todo el trabajo de la sala de cocción se basa en apoyar el trabajo de las enzimas. Pero un trabajo óptimo de las enzimas sólo es posible si se mantienen siempre de forma exacta las temperaturas y los tiempos predeterminados. Justamente esto requiere en todo momento que la persona encargada de la cocción trabaje de forma precisa y sea confiable, siendo inaceptables la superficialidad y las fallas. ¡En caso contrario, el daño puede ser considerable!

A los efectos de evitar esto, las salas modernas de cocción tienen almacenados en ordenador los programas de maceración y filtración, que operan de forma totalmente automática. La persona encargada de la cocción controla visualmente y tiene en todo momento la posibilidad de intervenir, si esto es necesario. De esta manera se excluyen las fallas humanas, pudiendo los procesos ser desarrollados de forma óptima (ver Sección 3.10).

3.5.3 Cálculo de un rendimiento de sala de cocción

Para un cocimiento tipo Pilsner hemos utilizado una carga de 4600 kg de malta tipo Pilsner, habiendo bombeado al final 331 hl con 10,7%. ¿Cuánto es el rendimiento de la sala de cocción?

$$R_{sc} = \frac{\text{contenido de extracto} \cdot E \cdot 0{,}96 \cdot \text{volumen de bombeo(hl)}}{\text{carga (dt)}}$$

$$R_{sc} = \frac{11{,}14 \cdot 0{,}96 \cdot 331}{46} = \%$$

$$R_{sc} = \frac{3540}{46} = 76{,}95\%$$

El rendimiento de la sala de cocción es 76,95%.

Si calculamos con el factor de rendimiento, nuestro cálculo se modifica de la siguiente manera:

$$R_{sc} = \frac{10{,}70 \cdot 331}{46} = \frac{3541{,}7}{46} = 76{,}99\%$$

Es decir, que el resultado se diferencia en 4 centésimas. La diferencia es baja y carece de importancia para cálculos aproximados. Pero es importante la comparación con el rendimiento de laboratorio (molienda fina, secada al aire; ver Sección 2.8.3.2). Esta comparación sólo tiene sentido si se la realiza con la misma malta. Para ello es necesario tomar muestras representativas de la malta durante un intervalo de tiempo de comparación y realizar el análisis de laboratorio de las mismas.

3.6 Equipamiento de la sala de cocción

3.6.1 Cantidad y disposición de los recipientes

En la sala de cocción se encuentran ubicados todos los recipientes necesarios para la fabricación del mosto. En la jerga cervecera, los recipientes de cocción se llaman equipos. Las salas de cocción pequeñas están compuestas sólo por dos equipos:

- una cuba, que es a la vez cuba de maceración y cuba de filtración, y
- una paila, que hace las veces de paila de maceración y de mosto.

Con una sala de cocción tal, de uno o dos equipos, se pueden realizar 1 a 2 cocimientos por día. Estas salas de cocción de dos equipos se encuentran siempre en cervecerías de restaurante y frecuentemente en pequeñas fábricas de cerveza. Según la cantidad de los días de cocción, se pueden producir hasta 600 cocimientos por año.

La sala clásica de cocción de dos o cuatro equipos está compuesta por

- una cuba de maceración o una cuba de maceración calentable,
- una paila de maceración para cocer la templa parcial,
- una cuba de filtración o un filtro de templa para la filtración del mosto, y
- una paila de mosto para la cocción de todo el mosto (Figura 3.89a).

Debido al aumento de cocimientos diarios, la sala de cocción incluye hoy en día además

- el tanque de espera (con calefacción) para contener el primer mosto o todo el cocimiento, mientras está todavía ocupada la paila, y
- el Whirlpool, en el caso de no haber una paila de Whirlpool.

Las fábricas de cerveza que trabajan con infusión tienen frecuentemente sólo un recipiente de maceración.

Los recipientes en las fábricas de cerveza pequeñas y antiguas están dispuestos de manera tal, que al menos la cuba de filtración se encuentra ubicada más alta y cerca de la paila de mosto, dado que el mosto fluía en pendiente libre por la canaleta de mosto a la paila. Hoy en día los recipientes se ubican en un mismo nivel.

Las salas de cocción modernas también tienen el molino.

3.6.2 Tamaños de recipientes

El tamaño de los recipientes es variable, porque deben cumplir con diferentes propósitos. Por cada 1 dt de carga se calcula con los siguientes volúmenes de recipiente:

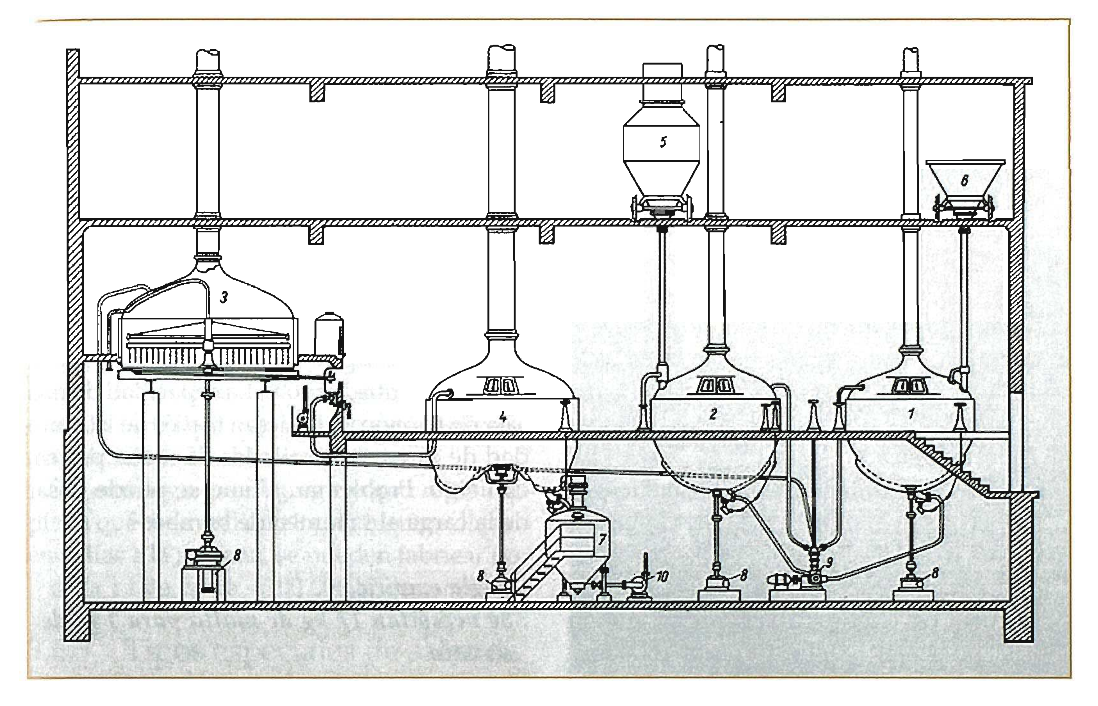


Figura 3.89a: Sala de cocción de cuatro equipos (diseño clásico)
(1) cuba de maceración calentable I, (2) cuba de maceración calentable II, (3) cuba de filtración, (4) paila de mosto, (5+6) tolva de molienda de malta (móvil), (7) cedazo de lúpulo (Montejus), (8) accionamiento de agitador, (9) bomba de templa, (10) bomba de mosto caliente

cuba de maceración (calentable)	6 hl
paila de maceración	4-5 hl
cuba de filtración	6 hl
paila de mosto	8-9 hl
tanque de espera	7 hl.

El tamaño de los recipientes de la sala de cocción se rige por el volumen de bombeo. Las cubas de filtración más pequeñas tienen un diámetro de 2 m, las más grandes más de 12 m. Por otro lado, las fábricas grandes de cerveza frecuentemente también prefieren salas de cocción con muchos equipos o tienen varias líneas que están comunicadas entre sí.

3.6.3 Materiales de recipientes

El material clásico de los recipientes de la sala de cocción es el cobre. Desde hace siglos, la sala de cocción de cobre ha sido el orgullo del cervecero. Ubicada en lo posible junto a la calle principal, la sala de cocción se presenta a los pasantes, a través de grandes superficies vidriadas, y realiza así una excelente publicidad para la fábrica de cerveza.

Pero el cobre se pone negro con el tiempo y con los años se forma cardenillo sobre él, cuyo aspecto sólo es considerado interesante sobre los techos. A los efectos de mantener el atractivo brillo rojizo de cobre en los recipientes, éstos deben ser pulidos permanentemente. A la larga, tampoco sirve un esmaltado, porque se pone poroso, continuando la corrosión debajo del mismo. Pero el pulido permanente es una operación que consume mucho tiempo laboral y que no es posible de realizar sin un andamiaje alrededor de las chimeneas de vahos.

A partir de 1965, aproximadamente, se comenzó a fabricar las primeras pailas de acero al cromo-níquel. Dado que se las puede obtener por corte de chapas planas, conformadas mecánicamente a la forma deseada y soldadas, su fabricación es considerablemente más económica que la de los recipientes repujados de cobre. Estas razones económicas llevaron a que hoy en día se fabriquen casi exclusivamente recipientes de cocción de acero al cromo-níquel, los cuales tienen además la ventaja de ser bien limpiables, por dentro y por fuera, con el proceso CIP, y de mantener su aspecto plateado.

Los problemas aparecen recién cuando uno de los recipientes de cobre debe ser cambiado debido a desgaste. En ese caso, se trata frecuentemente de cubrir el nuevo recipiente de acero inoxidable con la cubierta de cobre, aún intacta, para mantener la impresión total uniforme de la sala de cocción.

No cabe duda de que las salas modernas de cocción de acero al cromo-níquel también causan la misma impresión en el observador que las salas de cocción de cobre, sobre todo si se logra todo el efecto visual de los recipientes, como resultado de la disposición y de la decoración cromática del ambiente, así como también del azulejado y de la iluminación apropiada.

3.6.4 Capacidad de producción de la sala de cocción

La sala de cocción es el corazón de la fábrica de cerveza. De su rendimiento depende de forma decisiva la producción de los departamentos subsiguientes. Toda fábrica de cerveza está interesada en que la sala de cocción opere lo más posible en régimen, para aprovechar al máximo el tiempo de trabajo y la energía y así trabajar de forma rentable.

Hemos visto que con una sala moderna de cocción con cubas de filtración se pueden realizar hasta 12 cocimientos por día. Esta cifra se multiplica en la semana, por lo general, con los cinco días laborales y con las 52 semanas en el año, descontando los días feriados. Si se está obligado a realizar paradas de cocimiento, para hacer reparaciones necesarias, esto obviamente va en un detrimento notable de la capacidad. La cantidad de mosto terminado que se bombea en el año no es, por supuesto, aún la cantidad de cerveza para la venta, porque todavía se produce una merma hasta el momento de venta (ver Sección 5.5). Esta merma varía según la fábrica de cerveza y se encuentra entre 8 y 10%. La capacidad de una sala de cocción se indica, a través de la cantidad de carga, en toneladas de malta por cocimiento. Problema: ¿Cómo se puede pasar de la carga al volumen de bombeo?

Regla empírica:
Se necesitan 17 kg de malta para 1 hl de cerveza

Si se necesitan 17 kg de malta para 1 hl de cerveza, entonces se obtienen de 1000 kg de malta

1000 : 17 = 58,8 hl de cerveza.

Con una merma supuesta del 9%, estos 58,8 hl de cerveza se obtuvieron a partir de 58,8 : 0,91 = 64,6 hl de mosto. Es decir:

con una sala de cocción de 1t bombeamos aproximadamente 64,6 hl de mosto caliente,

con una sala de cocción de 10 t bombeamos aproximadamente 646 hl de mosto caliente etc.

Problema:

¿Cuántos hl de cerveza se pueden producir anualmente con una sala de cocción de 10 t?

En esto, asumimos un volumen de bombeo de 640 hl, 8 cocimientos por día, 4,5 días de cocimiento por semana y 52 semanas de producción, descontando los días feriados.

Producción de mosto

ɔor cocimiento	=	640 hl
ɔor día	640 hl · 8 =	5120 hl
ɔor semana	5120 hl · 4,5 =	23.040 hl
:n el año	23.040 hl ·52 =	1.198.080 hl
nenos		
ι0 feriados	5120 hl ·10 =	-51.200 hl
ɔroducción de		
nosto en el año	=	1.146.880 hl
de ello 91% (9% de merma)	=	1.043.660 hl

De acuerdo con esto, se pueden fabricar 1,04 millón de hl de cerveza con una sala de cocción de 10 t. Pero este cálculo está realizado asumiendo todo al límite extremo.

Sin embargo, puede regir como regla empírica que si se realizan 8 cocimientos diarios en 5 días a la semana, se pueden fabricar por cada 1 t de carga = 100.000 hl de cerveza.

3.6.5 Tipos especiales de salas de cocción

Entre las salas de cocción más pequeñas, hay dos grupos que desde hace algunos años tienen un rango especial. Estos son

- las salas de cocción de las cervecerías de restaurante, y
- las salas de cocción para ensayos y enseñanza de los institutos de investigación, las salas de cocción para ensayos de fábricas de cerveza más grandes, para el ensayo de nuevas variedades de cerveza o de nuevos procesos, así como las salas de cocción para enseñanza en los centros de entrenamiento profesional.

3.6.5.1 Salas de cocción para cervecerías de restaurante

Desde los inicios de los años '80, pero sin embargo con mayor intensidad recién a partir de aproximadamente 1986, se construyen y se operan exitosamente en toda Alemania cervecerías de restaurante, en especial en pueblos grandes y en ciudades. Actualmente (2003) hay en Alemania más de 320 de esas cervecerías de restaurante, y su número crece sin pausa.

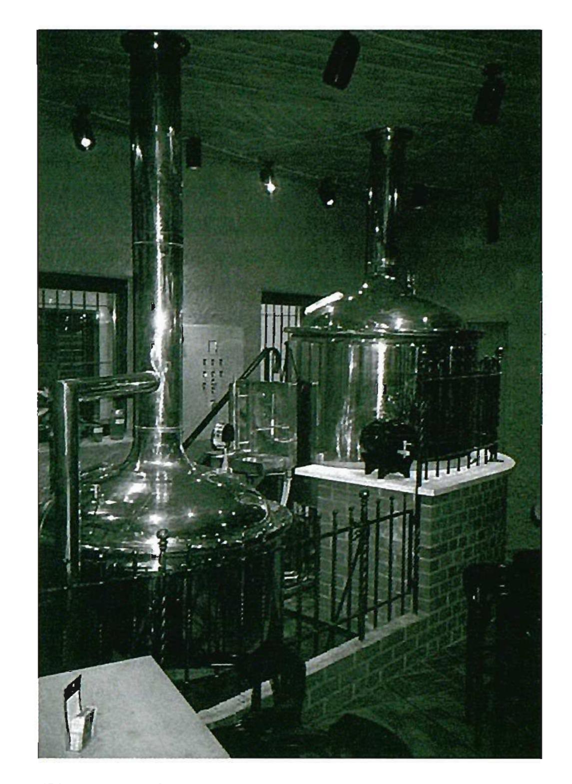


Figura 3.89b
Sala de cocción de una cervecería de restaurante
(Foto Beraplan, Härter GmbH, Chieming)

Las salas de cocción de las cervecerías de restaurante tienen, por lo general, un volumen de bombeo de 10 a 15 hl y producen anualmente, con 3 a 4 cocimientos por semana, 1000 a 2000 hl de cerveza, la cual es vendida únicamente en el restaurante.

El corazón de la cervecería de restaurante es la sala de cocción de dos equipos, la cual está ubicada atractivamente en el ambiente del restaurante (Figura 3.89b), mostrándoles a los comensales de forma expresiva cómo se fabrica cerveza. De esta manera, el ambiente del restaurante se convierte en una atracción especial, cuando en determinados días se puede observar como el maestro cervecero fabrica la cerveza. Si la cerveza es fresca y bien abocada y las comidas ofrecidas por el encargado del

restaurante van con la cerveza, el negocio es perfecto. Faltaría únicamente el jardín cervecero, el cual es cada vez más popular.

Las cervecerías de restaurante trabajan de forma mucho más económica que las grandes plantas, porque no tienen que realizar publicidad costosa, porque carecen de problemas de logística y porque son independientes del comercio mayorista –una gran ventaja, que comparten con muchas pequeñas fábricas de cerveza–. Dado que también se prescinde de los costosos procesos de embotellado y de conservación, son casi imbatibles desde el punto de vista de los costos (al respecto, ver Capítulo 8).

3.6.5.2 Sala de cocción integral

Una forma particularmente original de una sala de cocción de dos equipos, que se utiliza en especial en cervecerías de restaurante, es la sala de cocción integral [76] (Figura 3.89c).

En esta sala de cocción, la cuba de maceración y filtración (2) está construida de forma anular alrededor de la paila de maceración y mosto (1). Por medio de una mecánica dispuesta de forma ingeniosa, se sella la cuba con respecto a la paila y los cuatro brazos del dispositivo de rastrillo (3) con las cuchillas ajustables pueden ser elevados o bajados, según se desee. Las salas de cocción integrales ya no se construyen más.

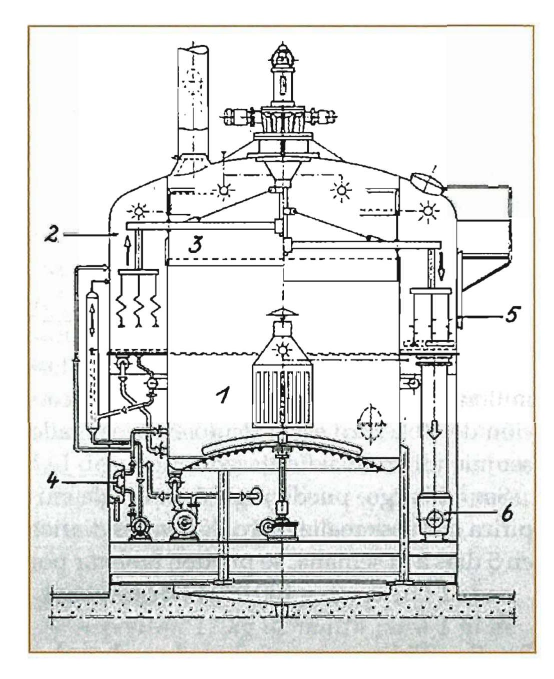


Figura 3.89c
Sala de cocción integral
(1) paila de maceración y mosto; (2) cuba de maceración y filtración, (3) dispositivo de rastrillo, ajustable en altura; (4) filtración del mosto y estación de hidrómetro de mosto; (5) mirilla; (6) transporte de heces

3.6.5.3 Salas de cocción para ensayos y enseñanza

La formación de los cerveceros y malteros en fábricas de cerveza de muy diferentes tamaños y equipadas diferentemente conlleva que muchos aprendices no puedan familiarizarse suficientemente con los procesos de la sala de cocción durante la formación práctica. Por este motivo, es necesario mostrar estos procesos, por medio de cocimientos de enseñanza, durante la práctica en el centro de enseñanza profesional. Para ello, todas las escuelas vocacionales con enseñanza cervecera en Alemania poseen hoy en día salas de cocción para enseñanza, así como equipos para fermentación / maduración, filtración y envasado en el orden de magnitud de 50 a 100 l (Figura 3.89d), tal como son usuales también en los institutos de investigación y en las universidades que ofrecen las carreras en tecnología cervecera.

De forma progresiva, las empresas cerveceras operan pequeñas salas de cocción para ensayo con volúmenes de bombeo de hasta cinco hl, a los efectos de ensayar nuevas variedades o variantes, a través de ensayos en serie. Esto es necesario porque, a través de este camino, se pueden obtener numerosos valores de análisis y de sabor, antes de ensayar con lotes grandes.

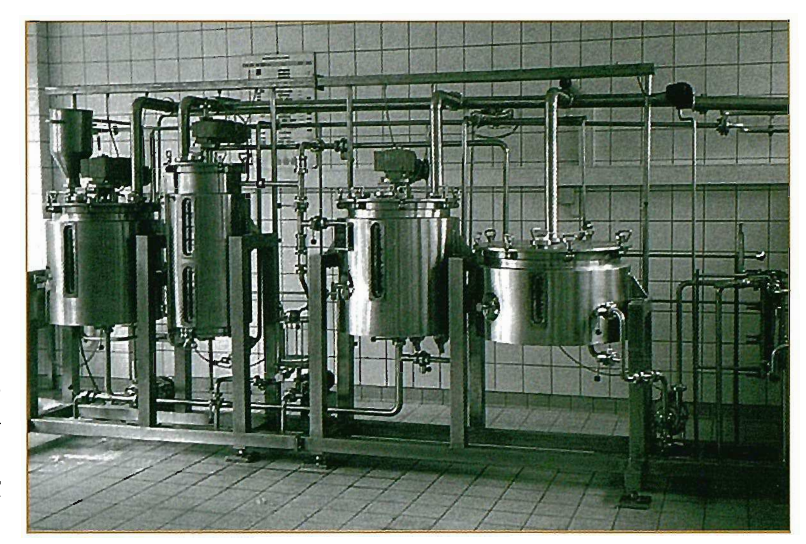


Figura 3.89d
Sala de cocción para enseñanza en el "Berufliches Schulzentrum Ernährung Dresden"
(Foto BAM Apparate- und Maschinenbau, Freising)

3.7 Bombeo del mosto caliente

En el bombeo, el mosto es bombeado al Whirlpool, por medio de la bomba de mosto caliente. Este proceso debe ocurrir lo más rápidamente posible, para que la paila de mosto quede libre para el próximo cocimiento. Pero al mismo tiempo debe ser realizado cuidadosamente, para que no se formen esfuerzos de corte (evitables), que dañan los componentes del mosto (ver Sección 3.2.1.4).

Se debe prestar atención a las diferentes transformaciones estructurales en los ß-glucanos,

- durante el enfriamiento lento, por un lado,
- y durante el enfriamiento rápido y la acción de los esfuerzos de corte, por el otro,

dado que de lo contrario puede llegar a haber problemas de filtración.

Si se utiliza lúpulo natural no triturado, se deben extraer las heces de lúpulo antes del Whirlpool, porque carecen de interés para el procesamiento ulterior. Al final del bombeo, las heces de lúpulo contienen aproximadamente 4,9 l de mosto por cada 1 kg de adición de lúpulo; esta pérdida disminuye

- si simplemente se hace escurrir, a 4,4 l,
- si se rocía bien, a 4,3 l,
- si se las exprime, a 4,0 l, y
- si se las rocía y exprime, a 2,0 l de mosto.

La extracción de las heces de lúpulo se realizaba antaño a través de un cedazo de lúpulo. El cedazo de lúpulo es un recipiente con un fondo de tamiz, que retiene las heces de lúpulo, en tanto que pasa el mosto (un tipo constructivo especial del cedazo de lúpulo es denominado "Hopfen (lúpulo)-Montejus").

Después de la descarga del mosto, se extrae todavía de las heces el azúcar, por lavado con agua, y este proceso de extracción por lavado es intensificado con la agitación de la mezcla de heces y agua. Dado que aun con el mejor método de lavado siempre quedan restos de extracto en las heces de lúpulo y no existe un uso económico para éstas, se las retorna para el próximo cocimiento a la cuba de filtración, donde son retenidas por las heces de malta.

Dado que las heces de lúpulo sólo causan trabajo, ya casi nadie utiliza hoy en día lúpulo natural o se lo usa molido y se lo separa en el Whirlpool.

3.8 Extracción del trub grueso

El trub del mosto caliente se llama ahora trub grueso o también trub de cocción o trub caliente. Está compuesto por partículas grandes de 30 a 80 µm, que son algo más pesadas que el mosto y que, por lo general, sedimentan bien y firmemente, si se les da suficiente tiempo.

El trub grueso debe ser extraído porque no sólo carece de valor para la fabricación ulterior de la cerveza, sino que es perjudicial para la calidad. El trub grueso

- obstaculiza la clarificación del mosto,
- embadurna la levadura,
- aumenta la cantidad de sedimento rico en trub y con ello la merma,
- contiene también los ácidos grasos de la malta,
- dificulta la filtración de la cerveza, si no es separado a tiempo.

La cantidad de trub grueso luego del bombeo es aproximadamente 6000 a 8000 mg/l y debe haber disminuido a menos de 100 mg/l, luego del proceso de extracción del trub grueso. El objetivo es la eliminación completa.

Sin embargo, muchas fábricas de cerveza no alcanzan dichos valores. Las causas de una separación insuficiente del trub grueso son, aparte de diseños deficientes de cuba de filtración, Whirlpool o centrífugas:

- filtración turbia del mosto, debida a
  -composición desfavorable de la molienda
  - mala calidad de la malta
  - trabajo de filtración defectuoso
- adición de lúpulo libre de o pobre en taninos.

En tales casos, la fracción de substancias enturbiantes en el mosto frío puede aumentar a más de 1000 mg/l y puede causar entonces los perjuicios indicados.

La extracción del trub grueso se realizaba antaño a través de la bandeja de enfriamiento o de la cuba de sedimentación, pero hoy en día es usual realizarla por medio del Whirlpool, a veces también con la centrífuga o por filtración.

3.8.1 Bandeja de enfriamiento

La bandeja de enfriamiento es el equipo "clásico" para la extracción del trub. Es un recipiente perfectamente plano y abierto, en el cual se bombea el mosto hasta una profundidad de 15 a 25 cm. Durante las 0,5 a 2 h en las que el mosto se encuentra en la bandeja de enfriamiento, el trub sedimenta, y tanto mejor cuanto más plana es la bandeja de enfriamiento. Antaño se dejaba reposar el cocimiento durante la noche. La última parte del mosto descargado se llama mosto turbio. El mosto turbio se encuentra muy sucio y también contaminado por el trub. Se lo trata en una planta especial.

Dado que en la bandeja de enfriamiento el mosto casi siempre es alcanzado por contaminaciones y dado que el costo laboral asociado a la bandeja de enfriamiento es muy elevado, hoy en día casi no se la utiliza.

3.8.2 Cuba de sedimentación

El lugar de la bandeja de enfriamiento, de gran superficie, fue ocupado frecuentemente por la cuba de sedimentación, más económica en la ocupación de espacio. La cuba de sedimentación es un recipiente de fondo plano, que está provisto de refrigeración por serpentinas o por camisa (Figura 3.90). Una cubierta superior reduce el riesgo de contaminación.

El mosto es bombeado a la cuba de sedimentación y se encuentra allí con una profundidad de 1 a 2 m. A través de los tubos o de la camisa de refrigeración pasa agua de planta. El mosto se enfría un poco, en tanto que el agua de refrigeración se calienta, pudiendo ser utilizada ulteriormente como agua caliente, por ejemplo para la limpieza de barriles.

Debido al nivel elevado del mosto, el trub sedimenta peor en la cuba de sedimentación. Pero dado que las capas superiores del mosto están menos sucias con partículas de trub que las capas inferiores, el mosto es extraído de la cuba de sedimentación a través de un tubo

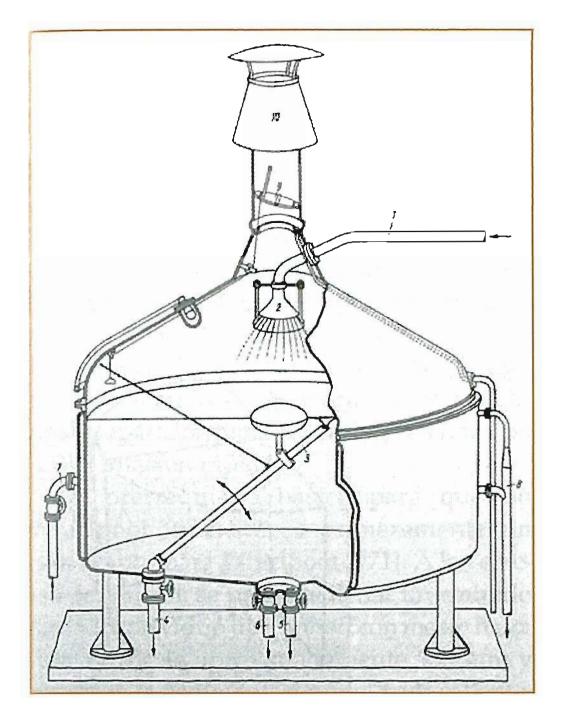


Figura 3.90
Cuba de sedimentación
(1) tubería de bombeo de mosto, (2) distribuidor, (3) tubo articulado, (4) salida de mosto, (5) descarga de mosto turbio, (6) descarga de agua de enjuague, (7) entrada de agua de refrigeración, (8) salida de agua caliente, (9) válvula reguladora, (10) chimenea de vahos

articulado con flotador, que siempre extrae la capa de mosto que se encuentra más alta. El mosto turbio queda en la cuba y debe ser tratado, tal como con la bandeja de enfriamiento, en una planta de mosto turbio. En lugar de la cuba de sedimentación, puede utilizarse también un tanque de sedimentación. Esto es un recipiente intermedio sin dispositivo de refrigeración, en el que se acumula primeramente el cocimiento bombeado. Las cubas de sedimentación y los tanques de sedimentación se consideran anticuados y ya no se los fabrica.

3.8.3 Whirlpool

Desde aproximadamente 1960 se utiliza cada vez más el Whirlpool para la extracción del trub. Representa el proceso más elegante para la extracción del trub caliente y es una alternativa económica con respecto a todos los otros procesos de extracción de trub.

El Whirlpool es un recipiente vertical cilíndrico sin piezas interiores, en el cual el mosto es introducido tangencialmente, por bombeo. De este modo, se produce un flujo rotatorio en el recipiente, el cual causa que el trub caliente sedimente formando un cono en el centro del recipiente.

El mosto puede ser extraído lateralmente. Pero el motivo de que ello sea así será aclarado con la ayuda de un ensayo.

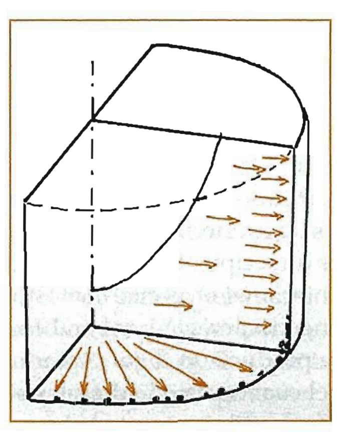
3.8.3.1 Principio de operación del Whirlpool

Ensayo:

Tomamos un vaso de precipitados grande o un pote grande con un diámetro mínimo de 40 cm y fondo plano y lo llenamos con agua hasta la mitad. Luego tomamos una cucharada colmada de arena y una cucharada colmada de una substancia granulada, más liviana, la cual sin embargo debe ser más pesada que el agua (por ejemplo tiza en pequeños trozos o granos de arena) y las introducimos en el vaso o pote. Las partículas caen y quedan allí donde tocan fondo.

Con la mano sumergida, causamos ahora una rotación, en lo posible rápida, del líquido. Observamos así que, debido a la aceleración centrífuga desarrollada, los granos de arena y las piezas de tiza son presionados hacia afuera, acumulándose en la pared exterior, en tanto que la superficie del agua toma la forma de un paraboloide de rotación (Figura 3.91). En realidad, esto no es nuevo para nosotros.

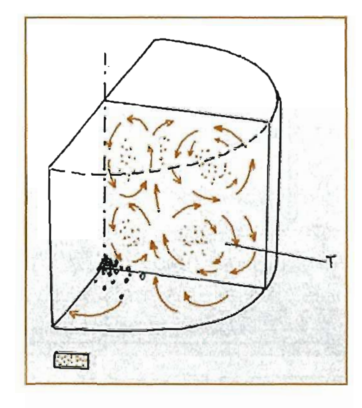
Ahora sacamos nuestra mano del vaso o pote y observamos qué sucede ahí adentro: vemos que las partículas de arena y tiza se mueven muy rápidamente formando espira-



Figuras 3.91
(1)

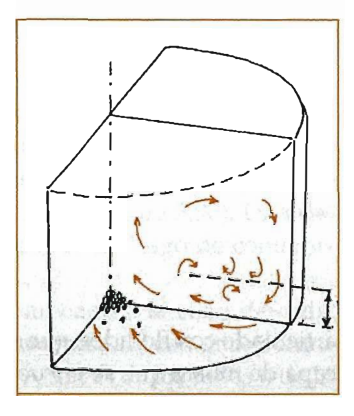
grande, que la rotación en el vaso o pote finaliza prácticamente en un minuto. Debido a esto, se forma en el recipiente una fuerte corriente primaria, que causa que las partículas de arena y tiza sean movidas rápidamente hacia el centro del vaso o pote (Figura 3.92). La causa de esto es que está alterado el equilibrio entre las fuerzas de presión y centrífuga en la llamada capa límite de fondo. En esta

Figuras 3.91 a 3.94
Corrientes y fuerzas en el Whirlpool
(1) la fuerza centrífuga impulsa hacia afuera, (2) el rozamiento en pared y fondo impulsa las partículas hacia adentro, (3) la formación de remolinos impide una buena sedimentación en el centro, (4) corte de la formación de remolinos

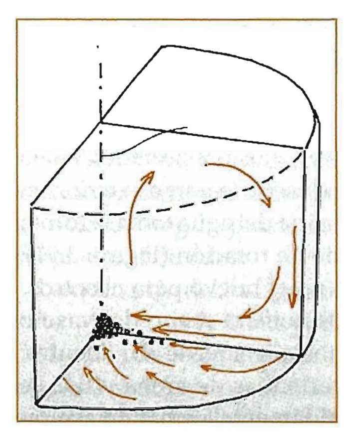


Figuras 3.93
(3)

les hacia el centro, acumulándose allí en forma de un montón suelto, el cual al principio también rota todavía con el agua. Desde arriba observamos formaciones de remolinos, donde las partículas externas del montón cambian permanentemente su ubicación. Puede verse en la pared exterior que allí es frenada fuertemente la velocidad. Este retardo debido al rozamiento con la pared y el fondo es tan



Figuras 3.94
(4)



Figuras 3.92
(2)

capa límite de fondo disminuye de manera particularmente fuerte la velocidad del líquido debido al rozamiento con el fondo, en tanto que la superficie del agua prácticamente no tiene rozamiento con el aire. Debido a esto se produce esta recirculación dentro del recipiente, deteniéndose la misma al poco tiempo, debido al rozamiento con la pared. A este efecto llamativo ya Albert Einstein lo llamaba "efecto de la taza de té", porque también se

lo puede observar bien en una taza de té, siempre que haya hojas de té en el líquido.

Pero junto con esta corriente principal, aparecen corrientes secundarias perturbantes en forma de sistemas de remolinos durante el desarrollo de la rotación decreciente en el Whirlpool. Estas corrientes secundarias pueden obstaculizar fuertemente el efecto de Whirlpool y con ello la separación del trub (Figura 3.93-3.94). Tiene un efecto especialmente negativo el remolino toroidal (T) ubicado en el fondo, porque forma otros remolinos de aparición temporaria, impidiendo una sedimentación rápida.

Un prerrequisito básico para que un Whirlpool funcione es primeramente un mosto apto para Whirlpool [171]. A los efectos de control, se propone llenar un embudo (aislado) de vidrio tipo Imhoff con mosto hasta una altura de aproximadamente 380 mm y observar la sedimentación del trub caliente, con la ayuda de una fuente de luz (Figura 3.96): en un mosto bien apto para Whirlpool, la sedimentación se completa luego de 5 a 6 min y el mosto se encuentra de forma clara por encima ésta. Los mostos problemáticos no muestran un resultado satisfactorio, tampoco después de 10 min o más.

Posibles causas para una separación pobre de trub caliente en el Whirlpool [171]:

- filtración deficiente del mosto,
- esfuerzo de corte demasiado elevado en el mosto, en tuberías y codos,
- dimensionamiento incorrecto de las bombas centrífugas,
- velocidad de entrada al Whirlpool demasiado alta,
- corrientes secundarias demasiado fuertes en el Whirlpool,
- velocidad de descarga demasiado alta, una relación desfavorable entre profundidad del mosto y diámetro del Whirlpool.

Es especialmente importante que

- la velocidad de entrada no sea mayor que 3,5 m/s,
- sea introducido un caudal másico de mosto, lo más grande posible,
- no se afecte por rotura ningún trub de cocción y
- ningún tipo de piezas internas obstaculice la rotación.

Es por ello que se ha demostrado como especialmente favorable realizar la separación de trub caliente en el mismo recipiente (paila de Whirlpool), dado que en este caso sólo una parte del mosto debe ser sometida a rotación, por parte de la bomba, y por eso se homogeneiza sólo una parte de los flóculos de trub. Además se ahorra el tiempo de bombeo de mosto caliente y se excluye una absorción de oxígeno.

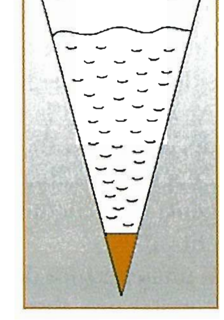


Figura 3.96
Embudo de Imhoff para el control de la sedimentación de trub

En algunos Whirlpools ocurren de forma más intensa corrientes secundarias o remolinos.

A través de investigaciones de Denk [20], se trató de evitar la influencia perturbadora de los remolinos, sin alterar el efecto de Whirlpool. Esto fue posible por la instalación de rejillas o anillos a una determinada altura sobre el fondo del Whirlpool (Figura 3.94).

Debido a la colocación de rejillas o anillos de acuerdo con Denk, se "corta" el remolino toroidal, destruyendo así su efecto. Se destruye con el remolino toroidal el motor principal de formación de remolinos en todo el Whirlpool,

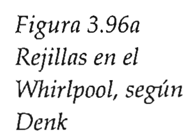
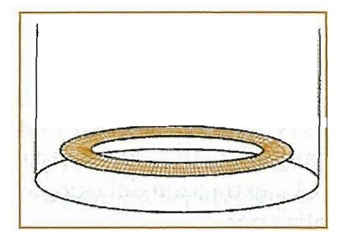


Figura 3.96a
Rejillas en el Whirlpool, según Denk



creándose así, sin perturbaciones, la corriente de fondo dirigida hacia el centro. Estos anillos o rejillas están dispuestos en el Whirlpool de forma concéntrica (Figura 3.96a).

3.8.3.2 Diseño del Whirlpool

El Whirlpool es un recipiente cilíndrico cerrado con fondo plano y una pendiente del 1% hacia la descarga (Figura 3.97). La relación diámetro : altura del contenido de mosto puede ser de 1:1 a 5:1, pero hoy en día se prefiere una relación de 3:1. El Whirlpool está aislado externamente contra enfriamiento. Los fondos de Whirlpool con una (así llamada) taza de trub – esto es una concavidad en el medio del recipiente, en la que se puede acumular el trub– no tienen ventaja alguna. Además, la taza de trub desmejora el efecto de Whirlpool, dado que representa una considerable invasión en la capa límite de fondo. Aparte de ello, la taza de trub impide el secado del cono de trub.

La entrada de mosto ocurre de forma tangencial, frecuentemente por dos aberturas de entrada:

- una abertura de entrada en el fondo, para evitar una absorción de oxígeno, y
- una abertura de entrada en el tercio inferior, para producir la rotación. La abertura de salida se encuentra siempre al costado, en el punto más bajo del Whirlpool.

Una forma particular de Whirlpool es la paila de Whirlpool. En este caso, el mosto permanece en la paila, la cual cumple así simultáneamente la función de Whirlpool. Por supuesto, que para ello sólo son apropiadas las pailas con fondo plano, para la separación de trub, y sin piezas internas. En este caso, se puede utilizar la cocción externa del mosto. Como pailas de Whirlpool también pueden ser utilizadas pailas existentes con fondo bombeado hacia abajo, si las condiciones de flujo posibilitan una buena separación de trub.

La extracción del trub del Whirlpool se realiza por

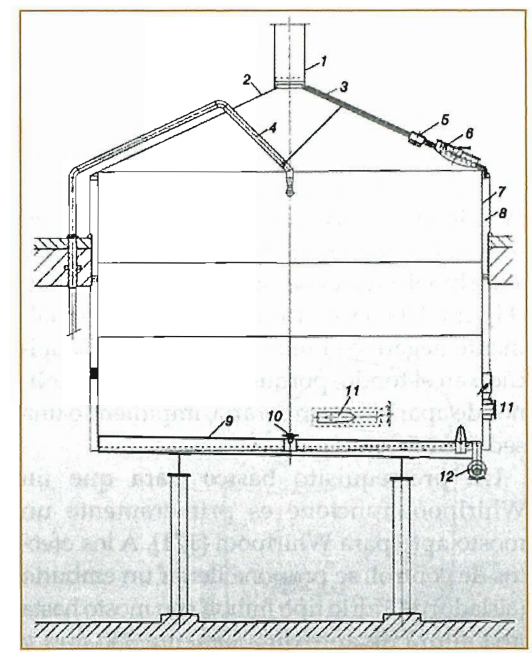


Figura 3.97: Whirlpool
(1) extracción de vahos, (2) campana de extracción de vahos, (3) descarga de agua condensada, (4) limpieza CIP, (5) iluminación, (6) mirilla con entrada de hombre, (7) pared lateral, (8) aislación, (9) fondo de Whirlpool con pendiente de 1%, (10) tobera de fondo para limpieza CIP, (11) entrada tangencial, (12) salida

- dispositivos centrales rociadores rotatorios, o
- toberas fijas.

3.8.3.3 Realización de la clarificación del mosto en el Whirlpool

El bombeo del mosto al Whirlpool es de especial importancia.

Debe cuidarse primeramente que la bomba de mosto no marche demasiado rápido y que trabaje sin cavitación, para que el trub no sea afectado por los esfuerzos de corte resultantes.

La velocidad de entrada del mosto no debe exceder los 3,5 m/s. Frecuentemente son su-

ficientes velocidades considerablemente menores para hacer rotar el mosto y lograr el efecto de Whirlpool. Pero aquí es importante un caudal que sea lo más grande posible.

La duración del reposo en el Whirlpool es de 20 a 30 min. Si se instalan rejillas o anillos, el tiempo de permanencia se reduce en un 30 a 60% en los mostos claros, pero a no menos de 20 min. Los mostos turbios tampoco pueden ser mejorados substancialmente en el Whirlpool.

Debe tratarse de mantener la carga térmica del mosto tan baja como sea posible, aun también después de la cocción. Por ello, el reposo en el Whirlpool debe ser mantenido lo más breve posible. Un reposo más breve produce

- menor aumento de la coloración
- mejor estabilidad de sabor en la cerveza [115].

Hemos visto en la Sección 3.4.2.6 –Sistemas modernos de cocción de mosto– que se trata de evitar la posformación de DMS libre proveniente de la preetapa de DMS, por descenso de la temperatura por debajo de 85°C antes del reposo en el Whirlpool, y de mantener con ello reducido el contenido de DMS libre.

Usualmente ya se comienza con la extracción del mosto en la parte superior, en tanto que en la parte inferior todavía continúa la sedimentación. Más tarde, el mosto se extrae lateralmente por abajo, cuando la sedimentación ha finalizado.

Cuando el cono de trub emerge del mosto, a menudo comienza a desintegrarse. Las causas de esto son [20] que, al descender el nivel del mosto, el mosto que se encuentra en el cono de trub (Figura 3.99)

- desciende con igual velocidad (1); en este caso, el cono de trub se mantiene, o
- sale más lento (2); en este caso, la parte del cono de trub que emerge del mosto está llena con éste, tal como una esponja, y presiona al mosto hacia afuera del cono, razón por la cual el cono de trub se desintegra en mayor o menor grado;
- tan pronto como emerge el cono de trub, deja de existir el empuje que estabiliza el cono.

Una cierta ayuda aquí puede ser dada por medio de una velocidad reducida al final de la descarga de mosto.

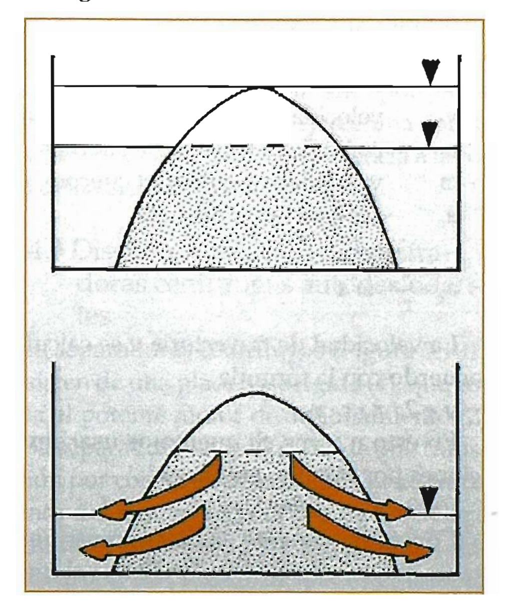


Figura 3.99
Descarga de mosto del cono de trub (representado exageradamente)

3.8.4 Separadoras centrífugas

3.8.4.1 Principio de la centrifugación

Hemos visto que el trub es algo más pesado que el mosto y que por ello sedimenta por vía natural, si se le da tiempo suficiente para esto. El prolongado tiempo de sedimentación, la consecuente necesidad de muchos recipientes de sedimentación, tales como cubas de sedimentación, y el creciente riesgo de infecciones a temperatura decreciente favorecen la búsqueda de otras soluciones.

En lugar de la aceleración de gravedad, está la posibilidad de utilizar la aceleración centrífuga, que es varias veces mayor, acelerando substancialmente con ello la separación del trub.

La fuerza centrífuga dirigida radialmente hacia afuera se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$F_c = m \cdot a_c = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

donde

F_c	fuerza centrífuga
m	masa del cuerpo
v	velocidad en la trayectoria del cuerpo
r	radio de la trayectoria circular
ω	velocidad angular del cuerpo
a_c	aceleración centrífuga.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

La velocidad de trayectoria v se calcula de acuerdo con la fórmula

$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$

En esto n = rps. Si queremos usar revoluciones por minuto, entonces

$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n/60$

Consecuentemente, la fuerza centrífuga es tanto mayor, cuanto más rápido rota el cuerpo, cuanto más pesado es y cuanto más alejado se encuentra del eje de rotación.

Un ejemplo de la magnitud real de la fuerza creada en una centrífuga tal será calculado en el caso que sigue:

Una centrífuga tiene un diámetro de tambor de 0,60 m y una velocidad de 6000 rpm. ¿Cuánto es la aceleración centrífuga producida?

Se busca:
1. Velocidad periférica
2. Aceleración centrífuga

1. $v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$

$v = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}30\ m \cdot 6000\ rpm$

$v = 11304\ m/min$

$v = 188{,}4\ m \cdot s^{-1}$

2. $a_c = \frac{188{,}4\ m \cdot 188{,}4\ m}{1\ s \cdot 0{,}30\ m \cdot 1\ s}$

$a_c = 118.315{,}2\ m \cdot s^{-2}$

La aceleración centrífuga es 118.315 $m \cdot s^{-2}$.

Si se compara este valor con la aceleración de gravedad (9,81 $m \cdot s^{-2}$), se ve que la aceleración producida por la centrífuga es más de 10.000 el valor de aquélla.

La fuerza que actúa dentro de una centrífuga tal es de un tamaño inimaginable. Pero de una forma más suave, todos nosotros ya hemos tenido contacto con esta ley en años jóvenes –sin fórmula–: al fin y al cabo, el parque de diversiones vive de esto con sus tiovivos complicados y ya por poco dinero podemos ensayar cómo reaccionan nuestros órganos, cuando la atracción por parte de la gravedad es superada por la fuerza centrífuga, varias veces mayor.

Esto puede ser observado de una forma muy expresiva con un simple disco, sobre el cual uno se pueda parar, en tanto que su dueño lo somete lentamente a rotación: quienes se encuentran en la periferia son los primeros en bajarse de un salto, porque ya no se pueden sostener. Luego les siguen los que están más adentro y sólo uno, que se escapó exactamente hacia el centro, permanece –pero únicamente mientras se pueda mantener exactamente en el centro–.

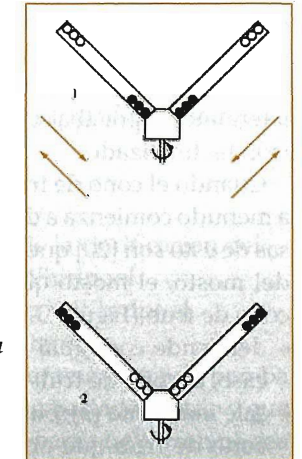


Figura 3.100
Demostración de la fuerza centrífuga
(1) estado de reposo
(2) en rotación

Este proceso de diferenciación también lo podemos reconocer bien en el siguiente ejemplo: sobre un eje de rotación vertical se colocan

de forma oblicua dos, tres o más brazos de vidrio y se los llena de agua (Figura 3.100). En cada brazo se colocan algunas bolas más pesadas, por ejemplo de material plástico, y algunas más livianas, por ejemplo pelotitas de ping-pong, y se obturan los brazos (1). Si movemos lentamente esta pequeña centrífuga, las bolas se mueven en sentidos opuestos (2), tan pronto como la fuerza centrífuga supera a la fuerza de gravedad: las bolas más pesadas, de material plástico, son empujadas hacia afuera, en tanto que a las pelotitas livianas de ping-pong sólo les queda el lugar cerca del eje.

Las centrífugas trabajan de acuerdo con el mismo principio que en los ejemplos mencionados de la vida diaria:

En las centrífugas se substituye la muy lenta separación de trub por sedimentación natural por una fuerza centrífuga mucho mayor, dirigida hacia afuera, como resultado de la cual una separación ocurre en segundos.

3.8.4.2 Tipos de separadoras centrífugas (centrífugas)

Se distingue entre

- separadoras centrífugas de tambor de cámaras y
- separadoras centrífugas de tambor de discos.

Las separadoras centrífugas de tambor de cámaras son dispositivos que utilizan el campo centrífugo de tambores en rotación para la separación. En éstas, el mosto es forzado a pasar a través de varios tambores concéntricos, en tanto que el trub, más pesado que el mosto, queda retenido en la pared del tambor, siendo así descargado.

Dado que el tambor debe ser desarmado y limpiado después de cada cocimiento, ya casi no son utilizadas para la clarificación del mosto.

Las separadoras centrífugas de tambor de discos son máquinas con un tambor, que dispone de insertos para el acortamiento de las vías de separación (discos). Se las equipa con dispositivos para la autodescarga (autodeslodamiento) del trub y son los equipos normalmente utilizados hoy en día. Se las construye para velocidades de tambor de 2500 a 10000 rpm, con un diámetro de tambor de hasta 800 mm. Siempre hay una interacción entre el diámetro de tambor y la velocidad posible de rotación, no pudiendo incrementarse indefinidamente su tamaño, porque la fuerza centrífuga creciente ejerce una solicitación muy grande sobre la resistencia a la rotura del acero, la cual es limitada.

3.8.4.3 Diseño y operación de separadoras centrífugas autodeslodantes

Las separadoras centrífugas (Figura 3.101) consisten de una placa base rígida (4), que conecta el potente motor de accionamiento (2) con la separadora en sí, a través de una transmisión por correa trapezoidal (3). El accionamiento del tambor se realiza a través del eje del tambor de separadora (5), también llamado árbol. La pieza principal es el tambor de discos (6), el cual contiene los discos.

Las piezas en rotación de la separadora (árbol y tambor de discos) están balanceadas dinámicamente y deben ser ensambladas siempre de la manera predeterminada. Aun así se presentan desequilibrios (tolerancias de fabricación, juego interno del rodamiento, desequilibrio del producto a centrifugar, influencias del accionamiento) durante la operación del tambor, en especial en el arranque, los cuales afectan al árbol del tambor y causan vibraciones. Estos rangos de velocidades críticas deben ser pasados rápidamente en el arranque y en el frenado. Su ocurrencia es también disminuida por un cojinete elástico de cuello (9) para el árbol del tambor.

La marcha balanceada (libre de desequilibrios) de la separadora centrífuga es un prerrequisito básico para un trabajo de la separadora sin perturbaciones, dado que en el caso de desequilibrio pueden presentarse fuerzas tales que pueden causar la rotura del árbol. El

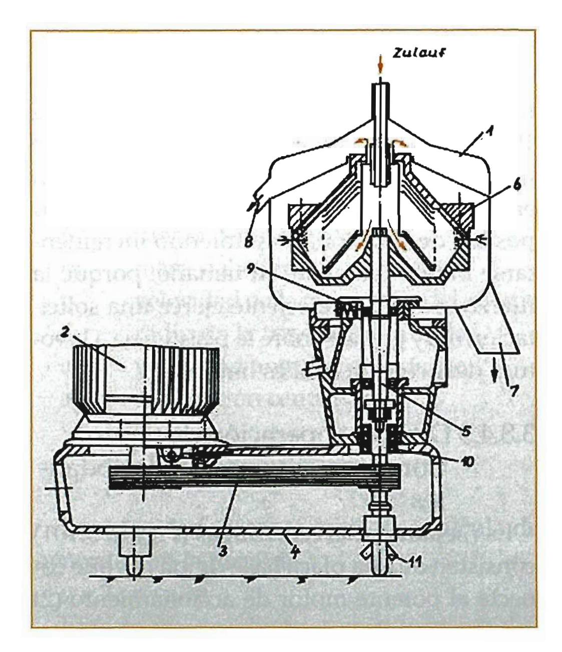


Figura 3.101
Separadora centrífuga (esquemático)
(1) cubierta de tambor
(2) motor de accionamiento
(3) transmisión por correa trapezoidal
(4) placa base
(5) eje del tambor de separadora
(6) tambor de discos
(7) descarga de sólidos
(8) salida de líquido de separadora
(9) cojinete de cuello
(10) cojinete de base de árbol
(11) amortiguador de vibraciones

daño es inimaginablemente grande, porque el tambor en rotación posee una energía cinética muy elevada.

3.8.4.3.1 Principio de operación de los tambores de discos

Los tambores de discos contienen hasta 200 insertos de discos cónicos. Los insertos de discos tienen un ángulo de inclinación de 50 a 60°. Este ángulo de inclinación depende de la rugosidad de la superficie del disco y del co-

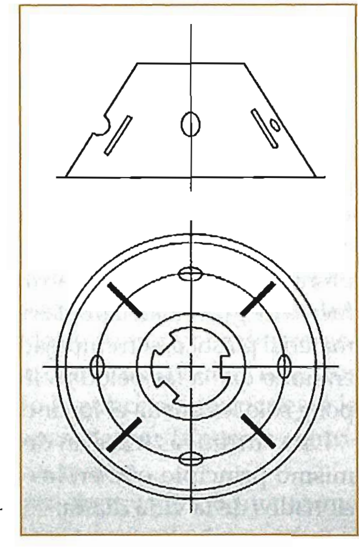


Figura 3.102
Disco del tambor

eficiente de rozamiento de las partículas sólidas (Figura 3.102). Los discos tienen un espesor de 0,4 a 0,6 mm, el espacio entre los mismos es de 0,3 a 0,4 mm. Esta distancia es establecida por medio de espaciadores soldados. En el medio de los discos se encuentran aberturas, los así llamados agujeros, los cuales juntos forman canales ascendentes, que

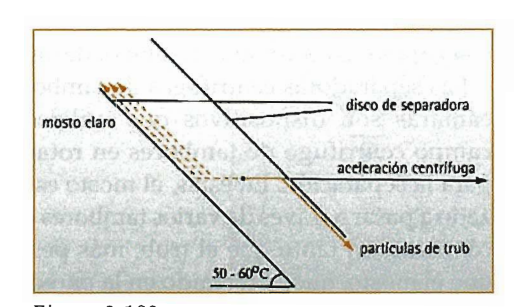


Figura 3.103
Proceso de separación entre los discos de tambor

sirven para la distribución del producto a separar.

La unidad de tambor en rotación separa las partículas de mosto de la siguiente manera (Figura 3.103): el mosto sin clarificar ingresa

por abajo a los canales ascendentes y asciende hacia arriba. Entonces, las partículas más pesadas de trub son presionadas contra la pared del disco y se deslizan por su parte inferior hacia afuera. El mosto más liviano fluye, por el contrario, por la parte superior del disco hacia adentro, pudiendo allí ser extraído ya limpio. Debido a los muy cortos caminos de separación (representados de forma exagerada en la figura), este proceso se desarrolla muy rápidamente (Figura 3.104).

El trub se acumula en la periferia del tambor en rotación, debiendo ser descargado. Hay dos métodos para descargar estos sólidos.

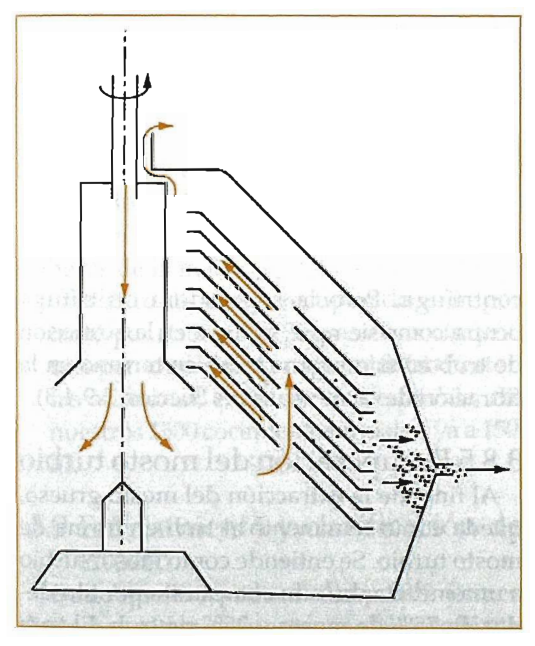


Figura 3.104
Operación de la separadora centrífuga

3.8.4.3.2 Tambores de discos, que posibilitan una descarga discontinua de sólidos

Se los construye como cono doble (Figura 3.105), que tiene en la periferia varias aberturas de descarga (ranuras) obturadas por un émbolo anular. A través del deslizamiento vertical del émbolo anular, se abren las aberturas y se descarga el trub.

El émbolo anular es mantenido cerrado (a), por medio de la presión hidrostática de un líquido en rotación, usualmente agua. La apertura se realiza con agua a presión, que actúa contra la parte inferior del émbolo anular (b). Aquí, los tiempos de apertura se pueden reducir a tal extremo que también son posibles descargas parciales de lodo, de manera que el proceso de separación pueda ser continuado sin pérdidas de líquido.

La separadora centrífuga de clarificación SC120 (Figura 3.106) trabaja según este principio. La descarga de sólidos (8) puede ser abierta, a través de un dispositivo fotoeléctrico, en el caso de un aumento del valor de turbidez.

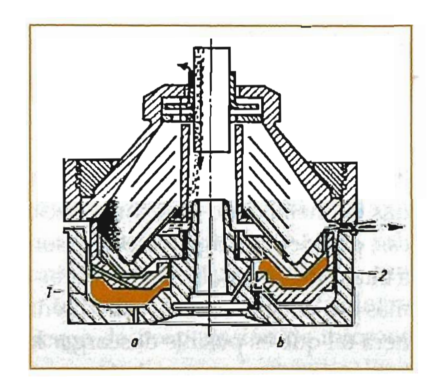


Figura 3.105
Separadora con descarga discontinua de sólidos
(a) ranuras de descarga de lodo cerradas,
(b) ranuras de descarga de lodo abiertas,
(1) agua a presión para el cierre de las ranuras,
(2) agua a presión para la apertura de las ranuras

3.8.4.3.3 Tambores de discos, que posibilitan una descarga continua de sólidos

Estos tambores tienen aberturas de descarga, llamadas toberas, en la periferia del cono doble. La cantidad descargada de la fase sólida puede ser influida por la cantidad y el diámetro interno de las toberas, el cual varía

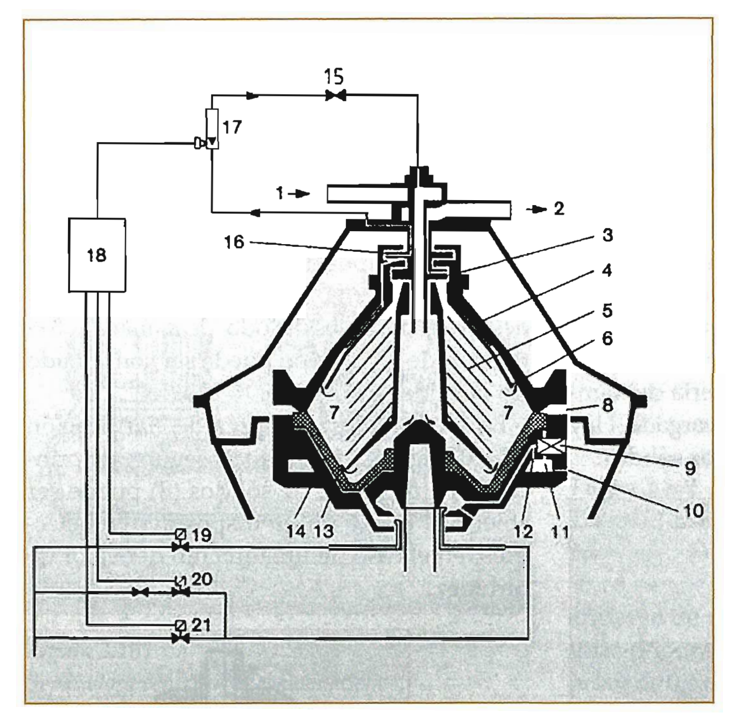


Figura 3.106: Tambor de separador con autocontrol por líquido sensor (SC 120-36-777)
(1) suministro, (2) descarga, (3) bomba centrípeta, (4) disco clarificador para líquido sensor, (5) paquete de discos, (6) disco de separación para líquido sensor, (7) espacio de acumulación de sólidos, (8) salida de sólidos, (9) válvula anular, (10) tobera de descarga, (11) cámara acumuladora, (12) tobera, (13) pistón de apertura de tambor, (14) cámara de cierre, (15) válvula reguladora, (16) bomba de líquido sensor, (17) controlador de caudal, (18) equipo de control, (19) válvula de agua de cierre, (20) válvula de agua de control para la preselección de la cantidad de sólidos a ser descargada, (21) válvula de agua de apertura

entre 0,5 y 2,5 mm. Estas toberas son fabricadas de metal duro o piedras preciosas sintéticas, por ejemplo ágata, porque son sometidas a altas exigencias. En separadoras centrífugas más nuevas, las toberas están diseñadas de manera tal que es posible descargar los sólidos a través de toberas controladas.

3.8.4.4 Evaluación de la separación de mosto caliente

El mosto caliente se deja separar del trub caliente de forma rápida y sin problemas con una separadora centrífuga. También las pérdidas son, con un promedio menor que 0,3%, relativamente pequeñas. Los elevados costos de inversión y operación son desventajosos, en especial el alto consumo de energía para el accionamiento del tambor, con 0,65 - 0,8 kWh/m^3, así como la complejidad de las máquinas.

En suma, se prefiere hoy en día generalmente el Whirlpool antes que la separadora centrífuga. Pero la separadora centrífuga ocupa, como siempre, su lugar en la extracción de trub en frío y gana también terreno en la filtración de la cerveza (ver Sección 3.9.4.3).

3.8.5 Recuperación del mosto turbio

Al final de la extracción del mosto grueso, queda como remanente el trub en forma de mosto turbio. Se entiende como mosto turbio a una mezcla de lodo compuesta por alrededor de 75% de mosto y 25% de trub. El trub debe ser extraído y el mosto recuperado.

Para la separación del trub y del mosto se utilizan filtros o centrífugas; con ello se puede recuperar la mayor parte del mosto. Sin embargo, existe la probabilidad de que el mosto entretanto ya se haya infectado, de manera que hay que esterilizarlo. Esto se puede realizar también por bombeo de retorno al próximo cocimiento, si se quiere evitar la esterilización demandante en trabajo y equipos y, por consiguiente, cara.

Cada vez más fábricas de cerveza están comenzando a adicionar el mosto turbio, aun sin tratar, al próximo cocimiento. Si es posible, esto debería ocurrir al inicio del riego en la cuba de filtración, a los efectos de lograr una extracción completa, pero no excesiva, por lavado.

Para no tener que calcular dos veces esta cantidad de mosto, se debe descontar, de la siguiente cantidad de bombeo de mosto caliente, el 75% de la cantidad de mosto turbio adicionado por retorno, para el cálculo del rendimiento de la sala de cocción.

La recuperación del mosto turbio es necesaria por varios motivos:

- si lo echamos a las aguas residuales, se poluciona más el medio ambiente, aumentando con ello nuestros costos de eliminación de desechos
- si retornamos el mosto turbio al próximo cocimiento, ya no hay ningún trub, porque se mezcla con la cantidad mucho mayor de heces de la malta
- cada litro de mosto recuperado es importante para nosotros. Si en cada cocimiento recuperamos aunque sea un único hectolitro adicional, entonces esto equivale, con nuestros 1500 cocimientos anuales, ya a 1500 hl.

3.9 Enfriamiento y clarificación del mosto

Dado que la levadura sólo puede fermentar a bajas temperaturas, se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible a una temperatura de 5 a 6°C, frecuentemente también a 7 a 10°C. Esto ocurre en la cámara de refrigeración. Durante este proceso el mosto primeramente brillante se enturbia, debido a la formación del trub en frío. La rápida realización de la fermentación y de la maduración exige una extracción óptima de este trub en frío durante el enfriamiento. Para una rápida realización de la fermentación se le debe suministrar de forma óptima aire a la levadura. Al mismo tiempo, debemos prestar atención a las variaciones de concentración durante el enfriamiento, debidas a evaporación o a suministro de agua.

3.9.1 Procesos durante el enfriamiento

Durante el enfriamiento del mosto ocurre una serie de procesos que tienen una influencia decisiva sobre la velocidad de la fermentación y maduración subsiguientes. Esto incluye

- el enfriamiento del mosto,
- la formación y extracción óptima del trub en frío, y
- la aireación intensiva del mosto.

Además se modifican el contenido de extracto y la cantidad del mosto. Aparte de ello, se desarrollan cambios químicos en el mosto, que son registrables de forma analítica como aumentos de coloración y otros cambios de substancia.

3.9.1.1 Enfriamiento del mosto

El mosto es enfriado rápidamente, por medio del enfriador de placas, a una temperatura de inicio de fermentación de 5 a 7°C. Esto es importante, porque la permanencia prolongada en temperaturas intermedias incrementa el riesgo de propagación de microorganismos perjudiciales para la cerveza. En el momento del bombeo de mosto caliente, este último se encuentra libre de gérmenes. Si ingresan a la cerveza durante el proceso de producción microorganismos perjudiciales para aquélla y se propagan, pueden influir negativamente en la cerveza o convertirla en no apta para la venta, ya antes de la filtración, por la formación de productos de metabolización.

3.9.1.2 Formación y extracción óptima del trub en frío

Por debajo de aproximadamente 60°C, el mosto anteriormente brillante comienza a enturbiarse. Este enturbiamiento consiste de mi-

núsculas partículas de aproximadamente 0,5 µm de diámetro. Por ello, se las denomina trub fino, trub frío o trub en frío.

3

Debido a su pequeño tamaño de partículas, el trub en frío sólo sedimenta de forma muy dificultosa. Tiene la particularidad de depositarse en otras partículas, por ejemplo células de levadura o burbujas de aire. Si logra depositarse en las células de levadura, reduce así la superficie de contacto de las mismas, afectando con ello la velocidad de fermentación. En este caso de habla de un "enlodamiento" de la levadura.

Esto gana en importancia con una reutilización progresiva de la levadura. Si permanentemente se utiliza levadura nuevamente propagada, la extracción del trub en frío no es esencial.

El trub en frío consiste de compuestos de proteínas y taninos, los cuales se separan más intensamente en un medio más frío y se disuelven nuevamente, de forma parcial, al calentar. Esto significa que el mosto contiene aún un 14% del trub total en frío en forma disuelta, en el caso de un enfriamiento a 5°C.

La extracción del trub precipitado es un problema que se trata de dominar de diferentes formas. Pero no se debe extraer el trub en frío en su totalidad, dado que ello resultaría en un sabor vacío en la cerveza.

Es deseable un contenido remanente de trub en frío en la descarga de 120 a 160 mg/l de materia seca [199]. Con una reducción del contenido de trub en frío a aproximadamente ese valor, se puede esperar

- un punto justo en el sabor de la cerveza, en particular del amargor,
- una mejor estabilidad de la espuma de la cerveza (por separación de ácidos grasos),
- una mejor estabilidad de sabor, y
- una fermentación más intensiva.

Para la extracción del trub en frío se trabaja, a elección, con (ver Sección 3.9.4):

- filtración (con perlita),
- flotación,
- sedimentación, o
- separación.

Estudios más recientes [199] muestran que en especial por el uso de separadoras centrífugas modernas en la clarificación del mosto frío se puede ampliar considerablemente el rango de rendimiento con igual grado de separación (ver Sección 3.9.4.3).

No es posible extraer simultáneamente el trub grueso y el trub en frío con un único equipo, dado que los equipos que extraen satisfactoriamente el trub en frío no pueden extraer al mismo tiempo el trub grueso. Además, el trub en frío recién se forma más tarde, cuando el trub grueso ya ha sido extraído. Por este motivo, se requieren equipos separados para la extracción del trub grueso y del trub en frío.

Hoy en día usualmente se desiste de una extracción de trub en frío. Sin embargo, un prerrequisito para esto es una separación óptima del trub caliente y una levadura fermentativa (levadura de asimilación). Con un desarrollo intensivo de la fermentación, se puede esperar una buena estabilidad de sabor y una buena estabilidad de la espuma.

3.9.1.3 Aireación del mosto

Una aireación del mosto a elevadas temperaturas conlleva una fuerte oxidación. A raíz de ello, el mosto se oscurece y se hace amargo. Sin embargo, la presencia de oxígeno es absolutamente necesaria para la propagación de la levadura. Bajo condiciones anaeróbicas (es decir, en ausencia de aire) se inhibe la propagación de levadura y la fermentación se desarrolla de forma lenta. Esta deficiencia se elimina a través de una aireación óptima del mosto frío (ver Sección 3.9.3).

El mosto requiere el oxígeno preferentemente para la síntesis de ácidos grasos, que son los componentes principales de las plasmalernas (membranas celulares) y sin los cuales no puede formarse nueva substancia celular. Es importante para esto abastecer con

oxígeno a la levadura, más que al mosto. El aire suministrado es procesado por la levadura en tiempo muy breve.

3.9.1.4 Cambios en la concentración del mosto

En la utilización de equipos de refrigeración abiertos se evapora algo de agua. La cantidad de agua evaporada puede ser considerable en el caso de una permanencia prolongada en la bandeja de enfriamiento. Esto causa un incremento en la concentración del mosto. Naturalmente, si se utilizan líneas de enfriamiento cerradas no se puede evaporar nada; por otro lado, se produce una leve disminución del contenido de extracto, debido al desplazamiento posterior de agua para la reducción de pérdidas de extracto. En el bombeo del mosto caliente, deben ser tenidos en cuenta los posibles cambios en la concentración del mosto durante el enfriamiento, a los efectos de lograr el contenido de extracto previsto en el mosto al inicio de la fermentación.

3.9.2 Equipos para el enfriamiento del mosto

El rápido enfriamiento del mosto ocurre hoy en día exclusivamente con intercambiadores de calor de placas, a veces llamados de forma breve enfriadores de placas. En el intercambiador de calor de placas el mosto es enfriado con agua más fría que él. El intercambio de calor ocurre a través de placas finas de acero al cromo-níquel.

3.9.2.1 Construcción del intercambiador de calor de placas

El intercambiador de calor de placas consiste en una gran cantidad de delgadas placas metálicas, dispuestas de forma paralela, por las cuales circula de forma alternada mosto y agua de refrigeración. Dado que contra cada placa fluye por un lado el mosto y por el otro el agua de refrigeración, siempre dos placas forman un elemento básico (vía de flujo) (Figura 3.108).

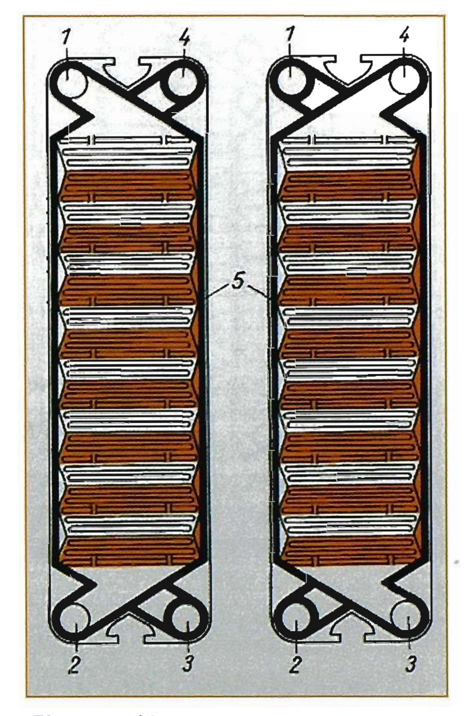


Figura 3.108
Placas correspondientes a intercambiador de calor de placas (elemento básico)
(1) entrada de mosto, (2) salida de mosto, (3) entrada de agua de refrigeración, (4) salida de agua de refrigeración, (5) sello de goma

Para lograr un buen intercambio de calor, se utilizan

- placas metálicas muy delgadas,
- se provee a estas placas de un perfil que cause turbulencias,
- se mantienen distancias reducidas entre placas,
- se pasa el mosto y el agua de refrigeración en contracorriente, y
- se cambia frecuentemente el sentido de flujo (Figura 3.109).

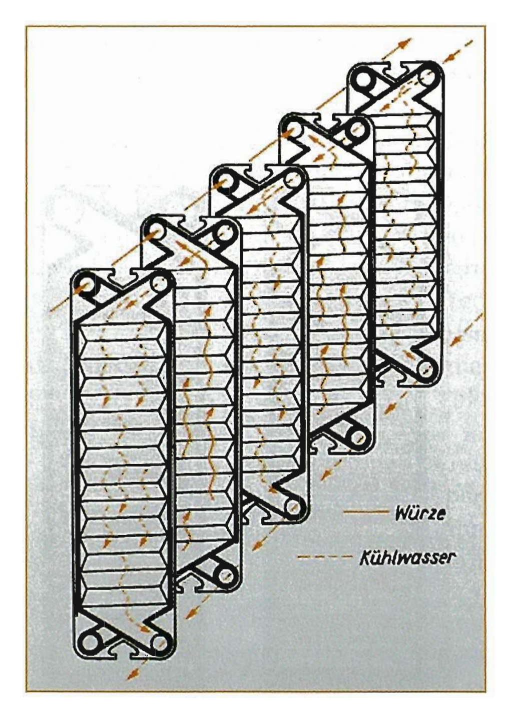


Figura 3.109
Transferencia de calor en un enfriador de placas

Las placas son suspendidas de largueros portadores en un bastidor y se las aprieta una contra otra. La entrada y la salida ocurren a través de placas de conexión en los extremos. Las placas que son atravesadas en un sentido (Figura 3.109a) se denominan bloque. El cambio de sentido en el próximo bloque se realiza por medio de una placa desviadora.

A los efectos de instalar la superficie de enfriamiento necesaria, se conectan varios bloques en serie.

Para excluir de manera confiable un mezclado de los medios, los agujeros de canal y las vías de flujo del otro medio se separan a través de sellos dobles. El intersticio posee una conexión al exterior a través de una ranura de drenaje.

El intercambiador de placas se compone de

- un bastidor con dispositivo de compresión,
- las placas de conexión, y las
- placas para el intercambio de calor.

Es particularmente importante que las placas sean apretadas fuertemente entre sí de manera tal que el enfriador sea absolutamente estanco. La compresión se realiza por medio del dispositivo de compresión. Se diferencia aquí entre

- compresión central,
- compresión por largueros, y
- compresión por bulones.

En la compresión central, la placa de compresión es apretada por un husillo roscado. A los efectos de reducir el recorrido del husillo, se coloca una pieza distanciadora entre la placa de compresión y el husillo, cuando se abulona el equipo (Figura 3.110, a). Para abrir el enfriador de placas, se quita la pieza distanciadora, de manera de tener suficiente espacio libre.

En la compresión por largueros, se aprietan las placas, a través de manguitos de sujeción ranurados, por medio de tuercas de sujeción (Figura 3.110, b).

Con presiones de operación más elevadas, se utiliza preferentemente la compresión por bulones. Aquí el paquete de placas es apre-

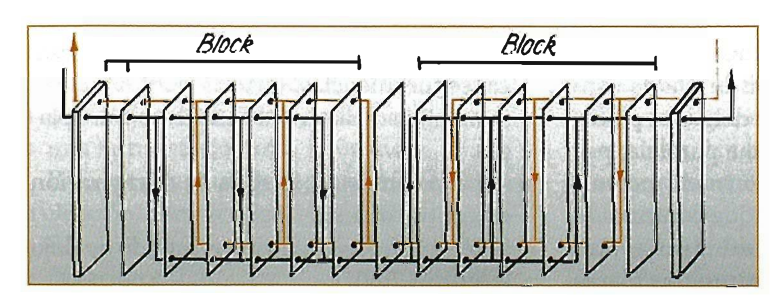


Figura 3.109a
Principio de funcionamiento del intercambiador de placas

tado por varios pares de bulones, los cuales naturalmente deben estar apretados de forma uniforme (Figura 3.110, c).

Sin embargo, en todos los casos no debe ser excedida la presión correcta, dado que una compresión excesiva puede dañar el paquete de placas.

Debe prestarse atención a la dilatación del material durante el calentamiento, por ejemplo en la limpieza por proceso CIP.

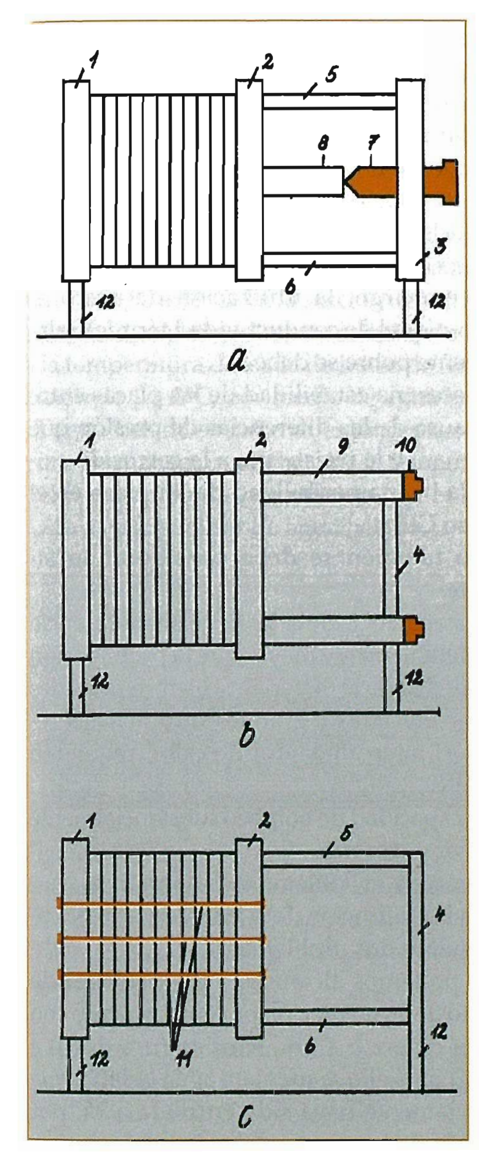


Figura 3.110
Dispositivos de sujeción en el intercambiador de calor de placas
(a) compresión central, (b) compresión por largueros, (c) compresión por bulones, (1) bloque de soporte, (2) placa de compresión, (3) bloque de husillos, (4) soporte de largueros, (5) larguero portador, (6) larguero guía, (7) husillo central, (8) elemento intermedio, (9) manguito de sujeción, (10) tuerca de sujeción, (11) bulón de sujeción, (12) pies

3.9.2.2 Forma de operación del intercambiador de calor de placas

En el intercambiador de calor de placas, el mosto caliente es enfriado de aproximadamente 98 a 95°C, por medio de agua fría, a una temperatura de inicio de fermentación de 6 a 8°C. En este proceso, el agua de refrigeración se calienta a una temperatura que se puede regular a través de la cantidad de agua que pasa.

La transferencia de calor ocurre del mosto más caliente al agua más fría. Este intercambio de calor depende de varios factores (Figura 3.110, a):

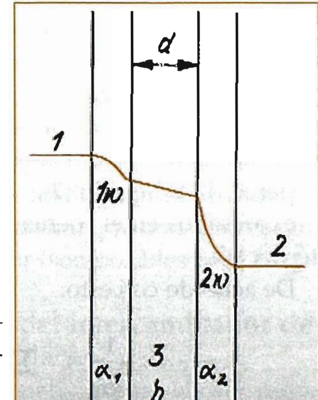


Figura 3.110a
Transferencia de calor en una placa intercambiadora

(1) temperatura del líquido más caliente, (2) temperatura del líquido más frío, (3) placa (1w+2w) temperatura en las superficies de separación de fases, (d) espesor de placa, (α_1 y α_2 coeficiente de transmisión térmica), (λ) coeficiente de conductividad térmica

la energía del líquido más caliente (1) es transferida por la placa (3) al líquido más frío (2). Para la transferencia de calor es de importancia

el espesor de pared (3), y

el material de pared con su coeficiente de conductividad térmica (λ);

al respecto, ya sabemos que por ejemplo el acero al carbono es mejor conductor de calor que el acero al cromo-níquel.

En las superficies de separación entre los líquidos 1 + 2 y la pared, se forma una superficie de separación de fases (1w y 2w), en la cual la temperatura se reduce o aumenta hacia la temperatura del otro líquido. El espesor de esta superficie de separación de fases es mayor en líquidos en reposo que en líquidos que se mueven rápidamente.

Una superficie de separación tal se puede detectar fácilmente si en un natatorio se permanece brevemente sin moverse en aguas en reposo: cuando uno vuelve a moverse, nota que el agua cerca de la piel ya se ha calentado un poco.

Pero para la transición térmica a través de la pared, son además importantes

- el coeficiente de transmisión térmica del líquido (1) en la pared (a1)
- la conductividad térmica de la pared, y
- el coeficiente de transmisión térmica de la pared d2 al líquido (2),

expresados en el coeficiente de transición térmica k.

De acuerdo con esto:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum\frac{\eta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}$$

De la fórmula se puede ver que el menor de los denominadores (a1, a2, λ) determina el valor numérico del coeficiente de transición térmica. Por ello, para mejorar el valor k, se debe mejorar primeramente siempre el valor más pequeño.

Esto requiere que

- los líquidos intercambiadores de calor sean movidos entre sí en contracorriente,
- los líquidos sean movidos rápidamente,
- la superficie del material sea mantenida limpia, y
- se utilicen placas intercambiadoras con buena conductividad térmica.

Sin embargo, la utilización de acero al cromo-níquel de conductividad térmica relativamente pobre se debe a

la necesaria estabilidad de las placas entre sí, a causa de las diferencias de presión que se forman, y la resistencia a la corrosión exigida, la buena posibilidad de limpieza en el proceso CIP.

Pero también se debe considerar lo siguiente:

la transferencia de calor tiene una influencia considerablemente mayor que la propagación de calor debida al material. Si bien velocidades de flujo elevadas y grandes turbulencias reducen el intercambiador de calor, requieren también

- una capacidad de bombeo substancialmente mayor y con ello
- mayores y evitables costos operativos.

Para la realización de la transferencia de calor resultan dos problemas:

1. No podemos alcanzar la temperatura de inicio de fermentación por enfriamiento con agua de pozo a una temperatura de 10 a 15°C; para ello se requiere agua helada, que previamente haya sido enfriada a 3K por debajo de la temperatura de inicio de fermentación.
2. Durante el enfriamiento, el agua de refrigeración se calienta. Si el agua se calienta solamente hasta temperaturas de 30 a 60°C, por lo general no es aprovechable. Se trata de alcanzar una temperatura de salida que sea lo más alta posible, para tener un elevado potencial de temperatura y para poder continuar utilizándolo como agua caliente o en el sistema acumulador de energía.

El enfriamiento puede realizarse en una o dos etapas. El enfriamiento de dos etapas era hasta ahora el usual (Figura 3.111): En la sección, más grande, de preenfriamiento, el mosto entrega su calor al agua fría de planta. En tanto que el mosto se enfría a aproximadamente 3 a 4K por encima de la temperatura del agua, el agua de refrigeración se calienta a una temperatura de 80 a 88°C. En la sección de refrigeración, más pequeña, el mosto es enfriado luego a la temperatura deseada de inicio de fermentación de 1 a 2°C, por medio de agua helada. El agua helada se calienta entonces un poco, pero permanece por debajo de la temperatura del agua de planta, de manera que es retornada al refrigerador de agua helada.

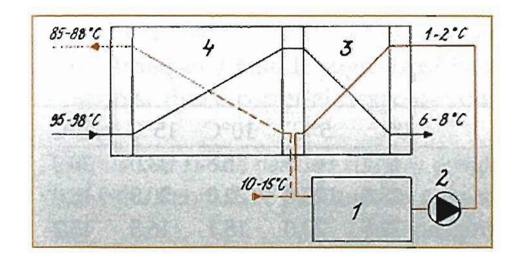


Figura 3.111
Enfriador de placas con enfriamiento de dos etapas (1) acumulador de agua helada, (2) bomba de agua helada, (3) sección de refrigeración, (4) sección de preenfriamiento

Hoy en día se enfría cada vez más en una etapa (Figura 3.112): Entonces, agua helada enfriada a 1 a 2°C es calentada en el intercambiador de calor de placas a 80 a 88°C, en tanto que el mosto caliente es enfriado de 95 a 98°C a la temperatura de inicio de fermentación. El agua helada consumida con ello debe ser remplazada por agua fresca.

El requerimiento de frío es menor en el enfriamiento en dos etapas que en el enfriamiento de etapa única (ver Sección 10.3.4.3), requiriéndose para ello mayor cantidad de agua. Aun así, muchas fábricas de cerveza prefieren enfriadores de etapa única, porque

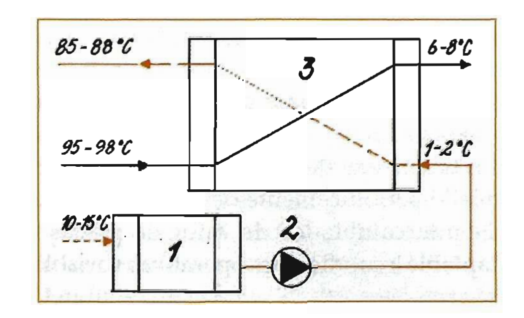


Figura 3.112
Enfriador de placas con enfriamiento de etapa única (1) refrigerador de agua helada, (2) bomba de agua helada, (3) paquete de placas

- son de construcción y operación más sencillas,
- son más baratos en su adquisición, y
- se asume que tienen el mismo requerimiento de energía que los de dos etapas.

La presión de operación permitida de los enfriadores de placa es por lo general p = 10 bar (m). Entre el lado de agua y el de mosto hay una diferencia de presión que normalmente es aproximadamente 2 bar, como máximo 4 bar. Esta diferencia de presión no puede ser incrementada indefinidamente, dado que puede causar deformaciones de las placas y pérdidas de estanqueidad en los sellos. Las placas de transmisión de calor deben ser diseñadas para la máxima presión diferencial que pudiera ocurrir (son posibles p=20 bar).

3.9.2.3 Ventajas del intercambiador de calor de placas

No existen alternativas para el intercambiador de calor de placas, porque otras posibilidades de enfriamiento no son utilizadas por diferentes motivos. Aun así, se deben mencionar las siguientes ventajas:

- el intercambiador de calor de placas ocupa un espacio reducido,
- tiene una muy buena transferencia de calor con bajas pérdidas de presión,

- es fácil de limpiar y se lo puede conectar al sistema CIP,
- el mosto permanece muy poco tiempo en el enfriador,
- no hay riesgo de contaminación, si es limpiado periódicamente de forma caliente.

El intercambiador de calor de placas es adaptable a condiciones operativas variables.

3.9.3 Realización de la aireación del mosto

Sabemos que la levadura necesita oxígeno para su propagación. Si descuidamos la aireación o no la realizamos de forma efectiva, esto afectará directamente de forma negativa las velocidades de fermentación y la propagación de la levadura. El oxígeno es absolutamente necesario para la levadura, para la síntesis de ácidos grasos, que forman el componente principal de las plasmalemas (membranas celulares). La aireación del mosto frío para el abastecimiento de la levadura es la única vez, durante todo el proceso de fabricación de cerveza, en la que se realiza el suministro de oxígeno de forma deliberada. Este oxígeno es consumido por la levadura en el término de unas pocas horas y no perjudica la calidad del mosto. Además, hay nuevas consideraciones respecto de no airear el mosto, sino únicamente la levadura.

Para disolver el aire en el mosto frío se debe pulverizar el aire finamente y mezclarlo de forma turbulenta con el mosto frío. Se trata de alcanzar con esto un ingreso de oxígeno de 8 a 9 mg O_2/l. Para obtener un ingreso tal de oxígeno, se debe aplicar una cantidad varias veces mayor de aire. Teóricamente se requieren sólo aproximadamente 3 l de aire por 1 hl de mosto para disolver una cantidad tal de oxígeno, pero se necesita una cantidad de aire varias veces mayor, porque

- *una parte de las burbujas de aire no se disuelve en el mosto, y*
- *ya el aire tampoco se puede distribuir de forma totalmente uniforme.*

El problema radica en la pulverización fina del aire, el cual se debe distribuir muy finamente en el mosto y disolver en este último. Las burbujas de aire que ascienden a la superficie del mosto forman una espuma molesta. Esta cantidad de espuma puede llegar a ser muy considerable, pudiendo con ello obstaculizar el proceso de aireación.

El aire inyectado debe ser estéril. Para ello, se lo pasa previamente a través de un filtro esterilizante (ver Sección 10.5.3.7). Si no se filtra el aire, se tiene un método seguro para introducir contaminaciones en la levadura.

La disolución de gases depende de la temperatura y de la presión. Cada gas posee un "coeficiente técnico de solubilidad" (λ) específico, que es determinado por la temperatura. Éste se indica en la tabla siguiente, en ml de gas/(1 kg de agua ·1 bar), y es para:

	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C
oxígeno	47,4	41,5	36,8	33,0	30,0
aire	28,0	25,0	22,0	20,0	18,0
nitrógeno	22,5	20,0	18,1	16,5	15,2
CO_2	1658	1378	1159	987	851

A los efectos de asegurar componentes concretos de oxígeno en el mosto, es importante mantener lo más constante posible la presión durante la disolución del gas (¡En el llenado de tanques cilindrocónicos, la presión estática varía permanentemente!).

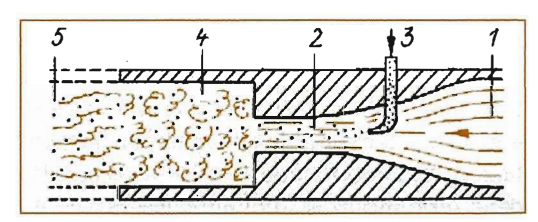


Figura 3.113
Tubo venturi (forma de operación)
(1) flujo laminar, (2) estrechamiento en la zona de la tobera, con aumento de velocidad, (3) tobera de aire con suministro de aire estéril, (4) flujo turbulento, (5) mirilla

3.9.3.1 Procesos para la aireación del mosto

Como procesos para la aireación del mosto se utilizan:

- velas de cerámica o metal sinterizado,
- equipos de aireación con tubos venturi (tobera mezcladora),
- equipos de aireación con toberas de dos componentes,
- equipos de aireación con mezclador estático, y
- mezcladores centrífugos.

Velas de cerámica o metal sinterizado

En estas velas, el aire es pulverizado, por medio de los poros finos de la vela, de forma extremadamente fina en el mosto que pasa fluyendo y se lo disuelve con ello. Este es un proceso muy sencillo y efectivo, pero la limpieza de las velas llenas de poros es muy costosa, si no se desea correr el riesgo de contaminación.

Equipos con tubos venturi (Figura 3.113)

En el tubo venturi, se produce un aumento substancial de la velocidad de flujo en la zona de estrechamiento del tubo. Aquí, se introduce el aire a través de una tobera y se lo mezcla intensivamente con el mosto, por medio de remolinos, en el posterior flujo turbulento, que ocurre en la zona de ampliación del tubo. Se produce así una pérdida de presión que no puede dejar de ser considerada.

Equipos con toberas de dos componentes

La tobera de dos componentes (Figura 3.114) es de construcción similar al tubo venturi. Aquí, el aire es introducido a través de finas toberas ubicadas en la pared, lográndose con esto la formación de burbujas extremadamente finas con una distribución muy estrecha de tamaños.

Luego del mezclado con aire, se pasa la mezcla a través de una tobera estrecha. Debido a la ampliación del espacio detrás de la tobera, se mezcla íntimamente entre sí la mezcla mosto-levaduraaire. Por mezclado de CO_2 en la cerveza, se puede realizar, de la misma manera, una carbonatación (ver Sección 4.7).

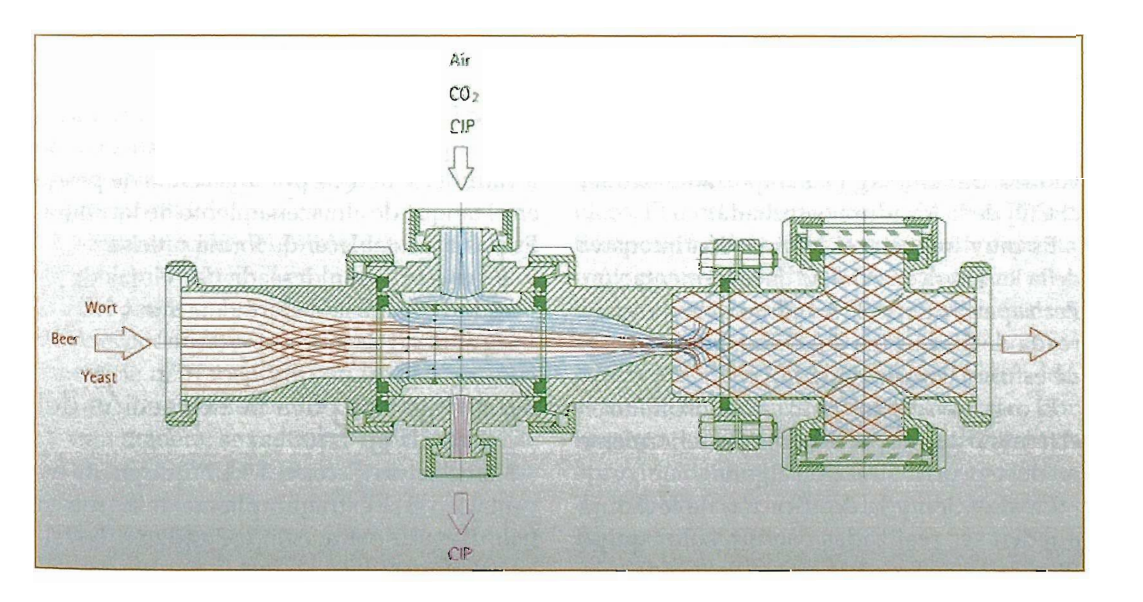


Figura 3.114
Tobera de dos componentes (Empresa Essay & Hueber, Schrobenhausen)

Equipos con mezclador estático

En el mezclador estático (Figura 3.115 y 3.115a) se obtiene un mezclado íntimo de mosto y aire a través de una sección de reacción con elementos mezcladores insertados. Los numerosos ángulos obligan al mosto a permanentes cambios de dirección y generan así un flujo turbulento y con ello una buena distribución del aire en el mosto.

Mezclador centrífugo

En el mezclador centrífugo, el aire es introducido en el mosto por un rotor de dispersión, siendo entonces dividido de forma extremadamente fina. Se obtiene de este modo una muy buena e intensiva disolución del aire.

3.9.3.2 Momento de aireación de la levadura

¡La levadura debería ser aireada intensivamente recién al inicio de la fermentación! Si ya se airea intensivamente la levadura durante la cosecha, se la activa nuevamente. Pero al no encontrar la levadura substancias fermentables, comienza a consumir sus propios hidratos de carbono de reserva. Debido a ello, se debilita la levadura y le falta luego el potencial de reserva al inicio de la fermentación. Esto se expresa luego con una mayor porción de células muertas y un peor estado de la levadura. Sin embargo, es importante extraer el CO_2 de la levadura cosechada.

Es muy importante la aireación intensiva de la levadura en el inicio de la fermentación. Pero aparte de ello, la levadura debería ser aireada de forma bien deliberada, a los efectos de estimular su actividad.

El oxígeno suministrado está consumido en el término de una pocas horas. Posteriormente no debe ocurrir aireación alguna.

La aireación y la dosificación de levadura pueden ser realizadas con un solo equipo (Figura 4.17). En este proceso, la levadura es repartida a través de todo el tiempo de pasaje de mosto, a los efectos de distribuirla uniformemente en el tanque. La dosificación de la levadura ocurre por medio de una bomba regulada por frecuencia. La cantidad total de levadura es medida por una célula de pesaje en el tanque de almacenamiento de levadura. Es posible establecer de forma precisa

- la concentración deseada de células de levadura de inicio de fermentación y
- la cantidad de aire.

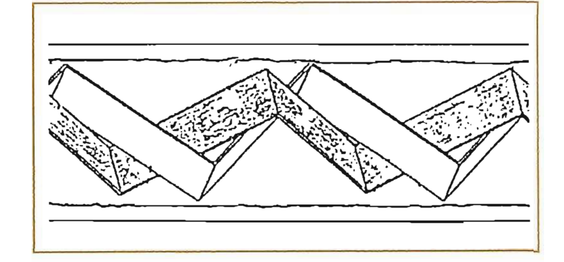




Figura 3.115 y 3.115a
Elementos mezcladores con mezclador estático

3.9.4 Equipos para la extracción del trub en frío

Hemos visto (Sección 3.9.1.2) que puede ser ventajoso si se extrae ampliamente el trub en frío. Para la extracción, se utilizan los siguientes métodos:

- filtración por medio de perlita,
- flotación del mosto, o
- separación del mosto frío.

3.9.4.1 Filtro por kieselgur

La filtración del mosto por medio de perlita es el método más seguro para extraer el trub en frío de forma óptima (aproximadamente 90%).

Respecto del diseño y modo de operación de los filtros de kieselgur, así como de los medios filtrantes (perlita y kieselgur), se informa en la Sección 4.5, de manera que se puede prescindir de ello aquí.

En lugar de kieselgur se utiliza preferentemente en la filtración del mosto la perlita, más liviana y barata.

3.9.4.2 Flotación

El trub en frío trata de adherirse ("efecto interfacial") a pequeñas partículas (células de levadura, burbujas de aire). Este efecto es aprovechado en la flotación: el mosto es mezclado con un exceso de aire muy finamente dividido. En el curso de algunas horas, se forman en el recipiente de flotación las pequeñas burbujas de aire, que ascienden a la superficie del mosto enriqueciéndose con partículas de trub en frío que se adhieren a aquellas. Se forma así una capa compacta, la cual puede ser extraída luego de haber sido vaciado el tanque de flotación.

Para la realización de la flotación interesan

- la introducción del aire,
- el recipiente de flotación, y
- el desarrollo del proceso.

La introducción del "aire de transporte" es el problema principal en la realización efectiva del proceso de flotación. Para trabajar de forma económica, es necesario lograr una gran superficie de transporte con la menor cantidad de aire finamente dividido por toberas. De esta manera, se reduce el espacio necesario de ascensión de espuma y con ello el volumen del recipiente (Figura 3.116).

Hemos visto que hay una serie de métodos para introducir el aire de transporte muy finamente pulverizado en el mosto. La industria especializada ofrece para ello los equipos apropiados.

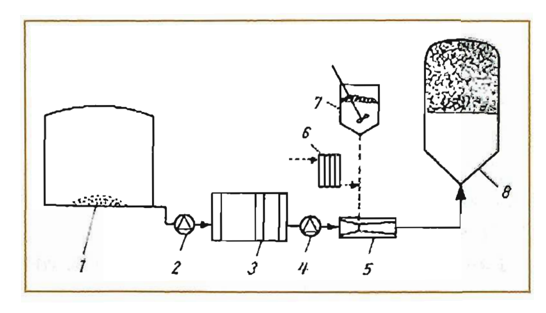


Figura 3.116
Planta de flotación
(1) Whirlpool, (2) bomba, (3) intercambiador de calor de placas, (4) bomba para aumentar la presión, (5) tobera de mezcla, (6) filtro de aire, (7) recipiente de introducción de levadura, (8) tanque de flotación

La flotación puede ocurrir con o sin levadura. Hoy en día se realiza generalmente la flotación con levadura, porque

- un período de exposición sin levadura implica un riesgo de contaminación,
- se usa también enseguida de forma óptima el oxígeno de la levadura,
- ya se aprovecha el tiempo de flotación como fase de fermentación inicial.

El mosto enriquecido con aire es conducido a un recipiente de flotación. Como recipientes de flotación sirven cubas abiertas o tanques cerrados, o también tanques cilindrocónicos. El mosto permanece aquí 4 a 8 h. En ese tiempo se forma primero una capa de espuma muy gruesa y sólida, la cual colapsa al cabo de aproximadamente 8 h de permanencia a aproximadamente 5 a 10 cm y queda en el recipiente de flotación, luego de ser transferido el mosto al recipiente de fermentación, por bombeo. La merma que se forma con esto es aproximadamente 0,2 a 0,4%. La separación de trub en frío que tiene lugar es aproximadamente 60 a 65%.

Si se utilizan recipientes cerrados de flotación, se puede trabajar con contrapresión y se evita así una formación excesiva de espuma, ahorrando con ello capacidad valiosa de re-

3

cipiente. Los tanques verticales de flotación tienen un fondo plano, con una leve pendiente hacia el centro. Los tanques (de almacenamiento) horizontales retienen ampliamente la capa de espuma en las paredes y en el fondo del recipiente. Todos los tanques cerrados son fáciles de limpiar por CIP.

Las ventajas de la flotación frente a la filtración son:

- menor desgaste,
- menor requerimiento de trabajo,
- no se utilizan medios filtrantes (perlita, kieselgur).

Por otro lado, la mezcla de trub debe ser tratada y el tanque de flotación debe ser limpiado. Se genera así agua residual. Ya casi no se construyen nuevas plantas de flotación.

3.9.4.3 Separación del mosto frío

Las separadoras centrífugas de mosto frío trabajan, por supuesto, según el mismo principio descripto en la Sección 3.8.4. Con separadoras centrífugas de clarificación de alto rendimiento [199], con capacidad horaria de 700 hl, se separa más del 50% del trub en frío, obteniéndose con ello valores 120 a 160 mg de trub/l de mosto. La merma con este tipo de equipo es de 0,15 a 0,20% de la cantidad de mosto caliente. De esta manera, también es posible estandarizar el mosto frío antes del comienzo de la fermentación y lograr así una calidad completamente uniforme.

3.9.5 Líneas de enfriamiento de mosto

De acuerdo con los diferentes trabajos a ser realizados, se necesitan, luego de la extracción del trub grueso

- un equipo para el enfriamiento del mosto (enfriador de placas),
- un dispositivo para la aireación del mosto, y eventualmente
- un equipo para la extracción del trub en frío (filtro, flotación).

Estos equipos están ubicados en la sala de refrigeración, la cual se encuentra sobre la cava de fermentación, en la disposición clásica.

El dispositivo para la aireación del mosto debe ser tan pequeño como sea posible y va fijado a la pared. Queda así solamente el enfriador de placas para la "sala de refrigeración", la cual entonces ya no es tal.

Por ello, el enfriador de mosto es ubicado preferentemente también en la sala de cocción.

Existen muchas posibilidades en la disposición de los equipos. Sin embargo, si se utiliza un filtro, la aireación intensiva del mosto debe ser realizada después de la filtración, dado que de lo contrario se producen problemas con el filtro.

3.10 Control y monitoreo de los procesos durante la fabricación del mosto

Si en una pequeña fábrica de cerveza se realiza sólo un cocimiento por día, el encargado de la sala de cocción tiene todos los procesos bajo control. Él conoce sus temperaturas y tiempos y usa continuamente sus cinco sentidos para monitorear cómo se desarrolla el proceso. Este encargado de la sala de cocción tiene una relación envidiable con su producto, la cual nunca puede ser lograda por su colega en una gran sala de cocción. Aquél ve, oye y huele cómo es la situación y puede tomar sus medidas, sin estar restringido con ello en el tiempo.

Sin embargo, cuanto más grande es la planta y cuantos más cocimientos se realizan por día, tanto menos un individuo puede supervisar todos los procesos. Si se realizan y bombean ocho cocimientos por día, muchos procesos se superponen en el tiempo. Con ello, crece también el riesgo de desatender algo o de que una temperatura no sea mantenida de forma exacta. ¿Y quién puede probar que el encargado de la sala de cocción ya estaba demasiado cansado en el turno de noche, a las 3 de

la madrugada, si no hay instrumento de control alguno?

La necesidad de observar un régimen de tiempo estricto, de cumplir exactamente los parámetros predeterminados (temperatura, tiempo, presión, etc.) y de alcanzar permanentemente los más altos rendimientos con la mejor calidad obliga a toda planta de mayor tamaño cada vez más a utilizar el control automático de los procesos de fabricación del mosto.

Cuando se habla de control, muchas personas piensan inmediatamente en grandes puestos de mando o unidades controladoras automáticas. Pero el control ya comienza en el área muy personal. Tomemos un interruptor de luz: con el mismo se puede encender o apagar una lámpara. Con las dos posiciones posibles del interruptor –apagado / encendido– ya se tiene un regulador de dos puntos.

Por supuesto, el control en la sala de cocción no se desarrolla de forma tan sencilla. Hoy en día se lo divide en diferentes niveles. Esto incluye primeramente los contactores mecánicos, que son interruptores operados por bobinas magnéticas. Además, se utilizan relés temporizadores, relevadores de intensidad y válvulas electroneumáticas. En esto se utilizan bajas tensiones de control, para conectar grandes accionamientos o para asegurar enclavamientos. Se diferencia aquí entre contacto ruptor y contacto de cierre. Cuando el contactor se encuentra sin corriente, entonces el contacto está abierto o cerrado. De acuerdo con esto se diferencia entre contacto normal abierto o contacto normal cerrado, porque se invierte la posición del interruptor, al suministrarse corriente, y se logra con ello una apertura o un cierre de la válvula. Este tipo de enclavamiento ya existe desde hace tiempo. Por ejemplo, en el accionamiento de la cuba de filtración, el motor de descarga de heces sólo puede ser conectado si el motor de la unidad cortadora está detenido, o viceversa.

Por supuesto que en la sala de cocción muchos procesos se desarrollan de forma simultánea o están enlazados uno con otro, de manera que las grandes salas de cocción no pueden ser conducidas con el control por relé, incluyendo relés temporizadores. Para ello, se utiliza hoy en día el control lógico programable (PLC). El programa es guardado en un lenguaje de programación orientado por objetos y se lo asegura contra fallos de corriente. Este programa es pasado y procesado de forma cíclica, siendo posibles ramificaciones y saltos. En el caso de programas muy complicados, la modificación de programa o un cambio de receta sólo pueden ser realizados por personal especialmente calificado para esto, a los efectos de evitar averías. Por este motivo, se tiene hoy en día en el programa generalmente un tercer nivel, al cual sólo pueden acceder determinadas personas.

Las ordenadores o, mejor llamados, workstations con grandes discos rígidos y pantallas de video de color permiten también un vasto registro de datos operativos. Las bases de datos permiten el intercambio con otros programas en el ámbito de la fábrica de cerveza.

Si luego se vinculan varios controles individuales entre sí, resulta un control totalmente automático de la instalación completa, siempre que el proceso tecnológico permita esto sin intervenciones manuales.

En las plantas nuevas, se utilizan hoy en día casi exclusivamente controles automáticos y también se reequipan cada vez más plantas existentes para la operación totalmente automática. Las ventajas son:

- uniformidad del producto por
- prevención de operaciones incorrectas,
- alivio del personal de operación,
- reducción del personal de operación,
- mejor coordinación de los procesos,
- se puede realizar el seguimiento de los procesos,
- reducida cuota de fallos,
- cambio sencillo de desarrollos de procesos,
- complemento de los componentes de planta.

Se diferencian básicamente dos variantes

en el control de las instalaciones de las salas de cocción:

- el control por cuadro tipo mosaico, y
- el control gráfico.

Control por cuadro tipo mosaico (cuadro de mando luminoso)

En un puesto de control tipo mosaico, todos los procesos tecnológicos de operación están representados de forma gráfica. Están previstas teclas de mando para todos los accionamientos y todos los controles de ejecución se indican por señal luminosa.

Para las mediciones, se encuentran montados en el cuadro tipo mosaico indicadores, reguladores y contadores, de manera que el encargado de la sala de cocción está informado en todo momento sobre todo lo que sucede, pudiendo reaccionar correspondientemente. Estas plantas aún son usadas ampliamente y, por lo general, son muy fáciles de monitorear y sencillas de operar. Ya no se las construye, porque son muy costosas y complicadas.

Control gráfico (técnica de display)

En el control gráfico, la representación gráfica de los componentes de la planta y de las secuencias tecnológicas ocurre exclusivamente en la pantalla de video. Los accionamientos, controles de ejecución, indicaciones y ajustes son mostrados en la pantalla de video y operados por teclado. El cambio de parámetros se realiza también a través de la pantalla de video y los protocolos de los mismos a través de la impresora. Un pasaje gradual del control por cuadro tipo mosaico al control gráfico es posible. En el control gráfico son ventajosas las extensiones de control, fáciles de realizar, y la ampliación sencilla de las posibilidades de representación gráfica. Por estos motivos, hoy en día cada vez más fábricas de cerveza cambian al control gráfico.

A través del programa de control instalado, los procesos se desarrollan secuencialmente de forma automática. El encargado de la sala de cocción sigue los procesos en la pantalla de

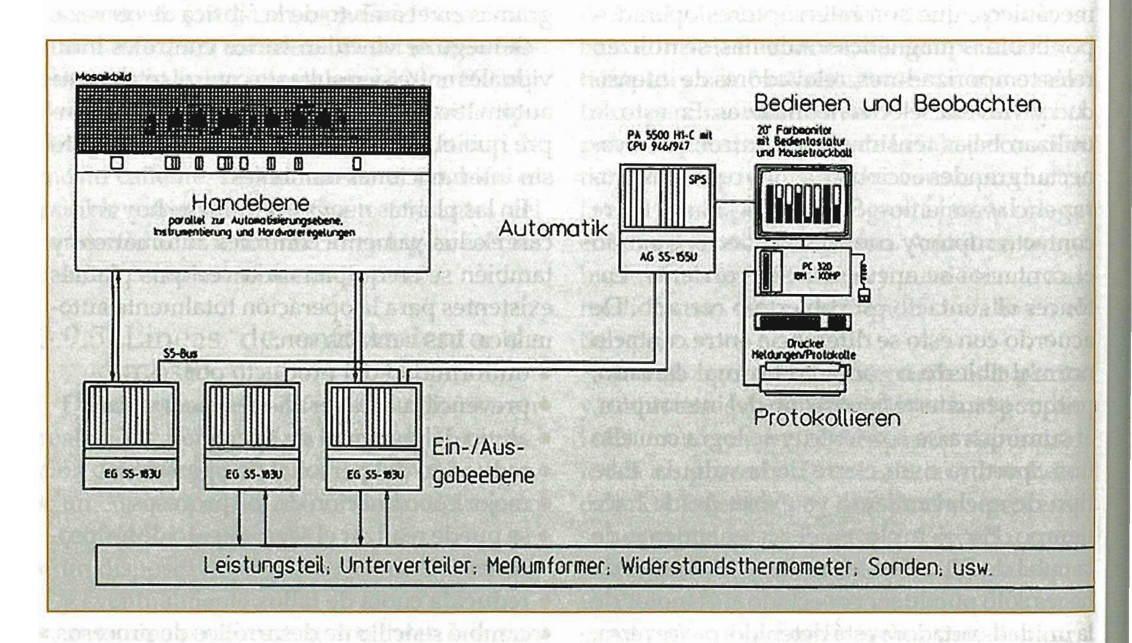


Figura 3.117
Automatización de procesos en la sala de cocción

video y puede intervenir, en caso de necesidad. El modo automático controla de forma independiente el desarrollo del proceso. Recibe y procesa las señales provenientes de la planta. Es importante aquí que las fallas e irregularidades producidas sean avisadas inmediatamente de forma óptica y acústica, para que el encargado de la sala de cocción pueda tomar las medidas necesarias.

El ordenador registra un sinnúmero de datos e informaciones, que puede imprimir o almacenar. Aún después de meses y hasta que sean borrados, los datos pueden ser llamados de la memoria y evaluados.

Pero muy frecuentemente se encuentra también en las salas de cocción una automatización de proceso, en la cual, junto al control automático por pantalla de video, se mantiene el cuadro tipo mosaico como nivel de operación manual (Figura 3.117). El mantenimiento de un nivel de control manual activo, a través del cuadro de mando del monitor, paralelamente con el PLC, significa un elevado costo, dado que la mayoría de las entradas y salidas deben estar duplicadas, sobre todo si las condiciones de enclavamiento también deben estar activas incluso en la variante de cuadro tipo mosaico.

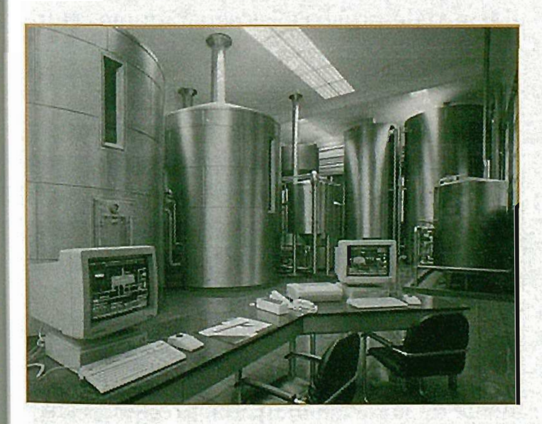


Figura 3.118
Puesto de trabajo computadorizado en la sala de cocción de la Schloßbrauerei Au/Hallertau
(Foto: Huppmann, Kitzingen)

Dado que también los demás departamentos de producción son automatizados progresivamente, por motivos obvios, hay una tendencia hacia la concepción global de la automatización (ver Cap. 11). Hoy en día ya es inimaginable la sala de cocción sin pantalla de video (Figura 3.118).

3.11 Seguridad laboral en la fabricación del mosto

3.11.1 Prevención de accidentes en el área del molino

Todas las partes móviles, que son accesibles, representan riesgos potenciales de accidente. Tan pronto como son agarradas piezas de vestimenta, mechones de cabello o partes de la mano o el brazo, el damnificado es arrastrado inexorablemente hacia la máquina, que es mucho más fuerte que él. El daño es a menudo desastroso.

Es por ello que rige la regla básica: ***la ropa de trabajo debe ser ceñida; el cabello largo debe encontrarse protegido bajo una gorra o un pañuelo de cabeza.***

Esta situación rige en especial cuando se trabaja con el molino de rodillos (ASI 2.91/78):

De acuerdo con las ordenanzas de prevención de accidentes, los rodillos del molino de rodillos deben estar protegidos de manera tal que no se pueda alcanzar el lugar de alimentación de los rodillos. Siempre que ya no esté asegurado por la construcción misma del molino de rodillos, que bajo ninguna circunstancia siquiera una mano delgada pueda llegar hasta la alimentación de los rodillos, es necesaria una protección especial, compuesta por una o varias barras. Estas barras deben estar fijadas en el interior del bastidor de molino o dispuestas inevitablemente de manera tal que se encuentren en posición de protección cuando la tapa (ventana) del bastidor se encuentra abierta.

Delante del molino triturador de malta debe encontrarse instalado un imán permanente o

excitado eléctricamente, de suficiente fuerza, el cual debe impedir que ocurran daños de maquinaria y la formación de chispas, debidos a piezas metálicas.

Por formación de chispas se puede producir una explosión de polvo en el molino. Este peligro es muy grande, dado que el polvo es explosivo en determinada mezcla con el aire. Dado que con el polvo se produce una carga electrostática en el molino, éste debe poseer una buena conexión a tierra y la cubierta debe ser hermética al polvo.

Las tapas de protección contra explosiones no deben ser desajustadas. El equipamiento técnico de seguridad (tubos de sofocación, discos de reventamiento) debe encontrarse en condiciones de funcionar.

Esto requiere al mismo tiempo también que el espacio del molino triturador de malta se encuentre libre de polvo, debiendo aquél ser limpiado regularmente. Debido al mayor riesgo de incendio en el fondo del molino, la persona a cargo de la molienda debe asegurarse continuamente de que los matafuegos e hidrantes en su área de trabajo están dispuestos para su uso.

Los elementos de transporte deben estar equipados con un dispositivo de parada automático para el caso de estados operativos anormales.

3.11.2 Prevención de accidentes cuando se trabaja con recipientes de cocción

Para la limpieza de los recipientes de cocción más antiguos, se debe entrar en éstos. En los recipientes modernos, la limpieza se realiza por proceso CIP. Aun así, se debe entrar, de vez en cuando, también en estos recipientes, para realizar controles o eliminar defectos.

La entrada a tales recipientes implica grandes riesgos. Pensemos solamente que, a raíz de una maniobra accidental, se pone en marcha el agitador o el dispositivo de rastrillo, mientras un colega de trabajo está ocupado en el recipiente. Ni siquiera podría hacerse escuchar, porque nadie oiría sus gritos.

A los efectos de evitar tales graves accidentes, la Asociación Central de las Mutuales de Prevención contra Accidentes Laborales emitió las ***Directivas para Trabajos en Recipientes y Espacios Restringidos*** (ZH 1/77 Ed. de abril 1991).

Se ha mostrado de utilidad como medida de seguridad contra conexión accidental del agitador u otras piezas móviles, que el colega que se encuentra trabajando quite el fusible eléctrico, o lo haga quitar por el electricista, y lo guarde él mismo durante el tiempo que dura el trabajo. En ese caso, no es posible un movimiento accidental de las piezas móviles aun con una conexión controlada electrónicamente.

En plantas automatizadas, la llave de contacto debe ser extraída y guardada por el colega que realiza los trabajos.

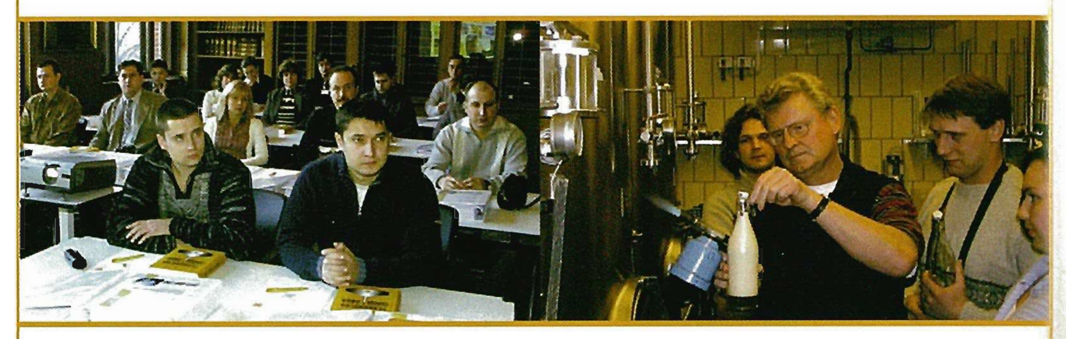
3.11.3 Prevención de accidentes cuando se trabaja con separadoras centrífugas

Las separadoras centrífugas deben funcionar de forma perfectamente balanceada. En el banco de pruebas, las separadoras centrífugas son examinadas en el sentido de que no se produzca un desequilibrio, porque ello puede causar una marcha excéntrica y finalmente la destrucción de la centrífuga. En ese caso, se destruye todo lo que se encuentra en el área circundante de la centrífuga.

A los efectos de evitar esto, al balancear la centrífuga se marcó la correcta ubicación de las piezas que van insertadas y atornilladas entre sí. Es por ello necesario que las piezas de la separadora sean ensambladas exactamente de la forma marcada, prestando atención a la marcación.

Formación y perfeccionamiento





Curso de cervecería en inglés

Curso de formación en inglés para cerveceros profesionales (5 meses). Este curso proporciona los conocimientos básicos requeridos para administrar una cervecería. Debido a la gran parte de trabajo prácticos en nuestros laboratorios y en nuestra cervecería de estudio el número de participantes está limitado 20 por curso.

Excellence in Brewing Technology

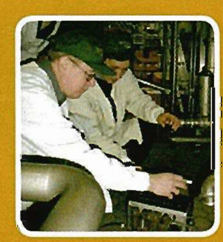
Un curso intensivo de 3 semanas para cerveceros profesionales y gerentes (en inglés).

Ofertas de estudio en Ciencia Cervecera

En cooperación con la Universidad Técnica de Berlín se ofrecen cursos de estudio para obtener títulos de Maestro Cervecero Diplomado (5 semestres) y de Ingeniero Biotecnológico Diplomado, especializado en Ciencia Cervecera (10 semestres). Las clases de tecnología cervecera durante los ciclos principales son impartidas en inglés. Sin embargo, se requieren buenos conocimientos del idioma alemán.

Curso de cervecería en ruso

El VLB ofrece en Berlín una vez al año un curso de 8 semanas en ruso para cerveceros profesionales.







Departamento de organización y formación

Tel.: +49 (30) 450 80-267
brewmaster@vlb-berlin.org

www.vlb-berlin.org

Instituto Cervecero de Investigación y Enseñanza en Berlín (VLB), www.vlb-berlin.org

4 Fabricación de la cerveza
(Fermentación, maduración y filtración)

4

Para la transformación del mosto en cerveza, los azúcares contenidos en el mosto deben ser fermentados, por las enzimas de la levadura, a etanol y dióxido de carbono.

Se forman en este proceso subproductos de fermentación, que influyen de forma substancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y la degradación parcial de estos productos secundarios están íntimamente ligadas con el metabolismo de la levadura y sólo pueden ser consideradas en conexión con este último.

La fermentación y maduración de la cerveza ocurren en muchas fábricas de cerveza, de acuerdo con los procesos denominados clásicos, en la cava de fermentación y en la bodega de maduración (Figura 4.1, 1+2). Las fábricas modernas de cerveza realizan la fermentación y la maduración en tanques cilindrocónicos (3). Dadas las substanciales diferencias entre ambos tipos de plantas y tecnologías, éstas deben ser consideradas también de forma separada.

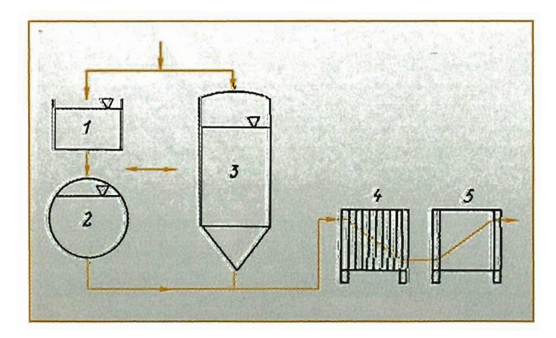


Figura 4.1: Fermentación, maduración y filtración (1) cuba de fermentación, (2) tanque de reposo, (3) tanque cilindrocónico, (4) filtro, (5) pasteurizador flash

Después de la fermentación, la maduración y el reposo, la cerveza es filtrada y estabilizada tanto biológica como coloidalmente, a los efectos de mantener la brillantez. Este tratamiento se realiza en filtros (4) y frecuentemente además en una planta con pasteurización rápida (flash) de la cerveza (5). Luego de esto, la cerveza está lista para el envasado.

4.1 Transformaciones durante la fermentación y la maduración

El proceso más importante es la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono por parte de la levadura. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación principal y reacciones de maduración, pero las reacciones solapan entre sí. Es por ello necesario considerar las reacciones de fermentación y de maduración como un proceso continuo.

Juega en esto un papel especial el hecho de que, debido al metabolismo de la levadura, se formen durante la fermentación productos secundarios y que algunos de ellos sean degradados nuevamente de forma parcial. Estos productos secundarios de fermentación determinan de forma decisiva, junto con los componentes del lúpulo, el sabor y el aroma de la cerveza. Por ello, es para nosotros particularmente importante saber cómo se forman y como se degradan.

4.1.1 La levadura, el socio más importante del cervecero

Sabemos (Sección 1.4.1) que la masa de levadura de color marrón claro está compuesta por muchos millones de células indi-

iduales de levadura, las cuales llevan una omplicada vida propia de forma totalmente independiente entre sí. Adquirieron esta vida propia a través de un desarrollo, que duró miles de millones de generaciones y que se encuentra almacenado en sus genes.

Lo que debe hacer la levadura no es determinado por nosotros, sino que debemos manejar los factores que regulan el trabajo de la levadura. No debe olvidarse que los intereses de la célula de levadura son de un tipo totalmente diferente de los del cervecero: mientras el cervecero está particularmente interesado en los productos finales alcohol y CO_2, justamente estos últimos son venenos celulares, de los cuales debe deshacerse nuevamente la célula de levadura, excretándolos por este motivo. Para la célula de levadura sólo es importante la ganancia de energía, para poder vivir y formar nueva substancia celular, bajo la recepción de nutrientes.

Bajo este aspecto sólo pueden lograrse valores óptimos para la fabricación de cerveza si también se crean condiciones óptimas para la célula de levadura. A esto se agrega que la calidad de la cerveza es influenciada de forma decisiva por la levadura y sus productos metabólicos.

Por ello, antes de ocuparnos de los detalles, se dará un breve resumen sobre los procesos en la levadura durante la fermentación y la maduración.

Luego del inicio de la fermentación, la célula de levadura debe acostumbrarse primeramente a su nuevo ambiente, el cual en primera instancia tiene un efecto chocante sobre ella: otra temperatura, otro valor pH, elevada concentración de azúcares, etc. Por algunas horas excreta aminoácidos y nucleótidos, pero reabsorbe pronto un parte. Cuanto mayor es la temperatura, tanto más se excreta. Pero el proceso de acostumbramiento dura en total sólo un tiempo breve (fase lag). Pero antes de que entre en contacto más íntimo con el nuevo medio ambiente, la célula de levadura toma primeramente substancias de reserva almacenadas, las cuales le suministran la primera energía.

Pero, debido a la oferta sobreenriquecida de azúcares fermentables en el mosto, la célula de levadura comienza luego rápidamente con la degradación del azúcar. Dado que además también se absorbe oxígeno del aire disuelto, se inicia simultáneamente la respiración, la cual conduce a una gran ganancia de energía en las mitocondrias, que son las centrales de energía de la célula.

Debido a este empuje de energía, le es posible a la levadura no sólo comenzar con la fermentación, sino simultáneamente formar nueva substancia celular y propagarse por gemiparidad. Del mosto toma la materia necesaria par la formación de nuevas substancias celulares. El cervecero debe encargarse únicamente de que estén presentes en el mosto los elementos constituyentes necesarios, por ejemplo:

- aminoácidos para la formación de nuevas substancias celulares (sin embargo, la levadura puede sintetizar sus propios aminoácidos sin problemas también a partir de otras fuentes de nitrógeno),
- fosfatos para el enlace en el ATP (adenosin trifosfato) (ver Sección 4.1.2.2.2) y en la doble capa de fosfolípidos de la membrana celular (plasmalema) y membranas en el interior de la célula,
- ácidos grasos para la formación de membranas celulares,
- azúcar para la constitución de hidratos de carbono de reserva,
- sales y oligoelementos (por ejemplo cinc),
- suficiente oxígeno para la respiración y una serie de transformaciones.

La mayoría de estas substancias está presente casi siempre en cantidad suficiente o pueden ser sintetizadas por la levadura misma. Pero en el caso de deficiencia de algunas de las substancias pueden ocurrir

perturbaciones en la fermentación. El cervecero debe considerar esto cuando modifica sus materias primas o cuando substituye una parte de su carga por adjuntos (sin maltear) o por azúcar, el cual por ejemplo no aporta aminoácidos o sales.

En esta fase extremadamente activa para la célula de levadura, en la que aún hay presentes en el mosto muchos nutrientes en forma de azúcares fermentables, la levadura forma un depósito de hidratos de carbono de reserva (glicógeno y trehalosa), a los efectos de tener una reserva para la permanentemente necesaria ganancia de energía, en el caso de deficiencia de nutrientes.

Esta fase logarítmica (fase log) es en la fermentación la sección más importante, en la cual desaparece el sabor a mosto y son establecidos los parámetros cualitativos esenciales de la futura cerveza a través de un metabolismo muy diferenciado de la levadura.

Tan pronto como ha sido consumido por respiración el oxígeno suministrado, la levadura debe restringir nuevamente su administración energética de forma total a la glicólisis anaerobia y debe vivir con una ganancia mínima de energía, debida a la fermentación de azúcar a alcohol y CO_2.

La fase log llega lentamente a su fin, dado que la oferta de azúcares fermentables ha disminuido fuertemente, no quedando finalmente casi nada más para fermentar. La fermentación ha finalizado. La levadura comienza a flocular, la propagación se ha detenido y el alcohol y el CO_2 estorban progresivamente, como venenos celulares, a la célula de levadura. Dado que las turbulencias en el tanque durante la intensiva fermentación principal han disminuido o finalizado totalmente, las células de levadura descienden lentamente hacia el fondo, donde se las puede cosechar.

Viene ahora un período malo para la levadura, porque comienza a haber una deficiencia en el suministro de energía, debiendo ella hacer uso de sus propias reservas. Comienza ahora lentamente con la excreción de productos metabólicos y enzimas y debe ser cosechada.

Aun con la baja temperatura de almacenamiento en frío, la levadura necesita –aunque muy reducidamente– energía para mantener sus procesos vitales. Ella comienza con la degradación de hidratos de carbono de reserva y otras substancias y excreta cada vez más productos metabólicos. Finalmente, la célula de levadura puede morir. Las enzimas de digestión liberadas comienzan entonces a disolver el interior de la célula, la pared celular es dañada y el contenido celular de la célula en disolución (en autolisis) pasa a la cerveza. De esta manera, son afectados de forma substancial la espuma y el sabor, se incrementa el valor pH en la cerveza, y las substancias que entran en solución son medios nutritivos bienvenidos para los contaminantes. Por ello, el cervecero debe encargarse a tiempo y repetidamente de la cosecha de levadura.

Pero también con una cosecha de levadura en tiempo, el cervecero debe continuar ocupándose de su levadura. Debe ser almacenada en frío y de manera tal que pueda desarrollar sus actividades rápida y completamente en una nueva fermentación y en lo posible en muchas fermentaciones más.

Esta observación previa es necesaria para expresar enfáticamente a cualquier cervecero que en la levadura tiene a su asociado más importante en la fabricación de cerveza. Solamente si le crea a este asociado las condiciones óptimas, puede tener esperanzas de alcanzar también resultados óptimos en la calidad de su cerveza. Al respecto se entrará en mayor detalle a continuación.

4.1.2 Metabolismo de la levadura

El conocimiento del metabolismo de la levadura es de importancia fundamental para el cervecero, dado que de ello se

nfluencia decisivamente la calidad de la cerveza. Interesan en esto:

- la fermentación de los azúcares y el metabolismo de los hidratos de carbono,
- el metabolismo proteico,
- el metabolismo de las grasas y
- el metabolismo mineral.

4.1.2.1 Fermentación del azúcar

La levadura es el único ser vivo, que es capaz de –y bajo condiciones anaerobias también está dispuesto a– substituir la respiración intensiva en energía por la fermentación. Debe aclararse ahora en qué consiste la particularidad de la fermentación alcohólica y

cómo son las relaciones energéticas.

4.1.2.1.1 Fermentación alcohólica como glicólisis anaerobia

Como todos los otros seres vivos –tanto plantas como animales–, la célula de levadura requiere de energía para todos los procesos dependientes de la energía, por ejemplo para

- la formación de nuevas substancias celulares,
- la absorción y asimilación de substancias del medio ambiente,
- la degradación y excreción de compuestos innecesarios o dañinos,
- el transporte de substancia dentro de la célula.

La mayoría de los seres vivos obtiene la energía necesaria por respiración. El proceso comienza con la degradación de glucosa en el citoplasma (citosol) (Figura 4.2). Se forma en esto, luego de una serie de etapas intermedias complicadas, piruvato (ácido pirúvico), el cual es finalmente transformado en etanol (alcohol) y CO_2:

en la glicólisis, la glucosa es combinada primeramente con fósforo (fosforilada). Esto sucede por recepción de un átomo de fósforo de ATP (adenosin trifosfato) y la transformación de este último en ADP (adenosin difosfato) (1) (ver Sección siguiente). Se forma glucosa-6-fosfato, que a continuación es transformado en fructosa-6-fosfato (2), con ayuda de la isomerasa de glucosa-fosfato. A continuación ocurre una nueva fosforilación por pasaje de otro átomo P de ATP por parte de la 6-fosfofructoquinasa. Se forma fructosa-1,6-bifosfato (3).

A continuación ocurre una disociación en dos triosa-fosfatos isómeros por la fructosa-bifosfato-aldolasa (4). El glicerol- y gliceron-3-fosfato (5) formado es reducido ahora por la deshidrogenasa de gliceral-3-fosfato a 2 moléculas de 1,3-bifosfoglicerato (6) y al mismo tiempo es ligado un ion hidrógeno por NAD. Luego ocurre una doble desfosforilación, por la fosfogliceratoquinasa, a dos moléculas de fosfoglicerato (7). En esto, el fósforo es ligado nuevamente dos veces por conversión de ADP en ATP (en 1 y en 3) y se lo suministra con ello nuevamente al ciclo.

A través de la fosfoglicerato-mutasa (8), el 3-fosfoglicerato es convertido en 2-fosfoglicerato y transferido por la fosfopiruvato-hidratasa (9) a fosfoenolpiruvato. La piruvatoquinasa convierte finalmente las dos moléculas de fosfoenolpiruvato en dos moléculas de piruvato (ácido pirúvico) (10). En la conversión de dos moléculas de ADP en ATP, que tiene lugar en esto, se libera la única cantidad de energía (2 × 30,5 kJ), de la que dispone el organismo durante la glicólisis.

En tanto que el piruvato continúa siendo degradado durante la respiración, éste es separado en la fermentación alcohólica (glicólisis anaerobia), por parte de la piruvato decarboxilasa (11), en CO_2 y etanal (acetaldehído). Luego, el etanal es convertido por la alcoholdeshidrogenasa (¡bajo la presencia necesaria de cinc!) en etanol (alcohol etílico, alcohol) (12), donde el $NADH_2$ entrega su ion hidrógeno guardado, siendo nuevamente NAD.

Para las conversiones se debe transferir una molécula de hidrógeno (ver conversiones 6+12). Para tales procesos de reducción, se ha impuesto en la naturaleza la transferencia a través del compuesto nicotinamida adenina dinucleótido

(NAD), el cual impide la liberación de gas hidrógeno peligroso. Las curvas con las denominaciones NAD ⇨ $NADH_2$ aluden a esto. Si se observa de cerca el rendimiento ATP/ADP, la conversión ATP/ADP de las etapas de reacción 1 + 3 y de la etapa 7 es reconvertida nuevamente. De esta manera se forma un ciclo ininterrumpido. La ganancia de energía en sí tiene lugar en la etapa 10 con una doble desfosforilación y una doble conversión de ADP ⇨ ATP.

La conversión de la glucosa en 2 piruvatos, a través de 10 etapas intermedias, se denomina glicólisis. Tiene lugar en todas las células de plantas, animales y seres humanos. Posteriormente, se conduce aquí el piruvato a las mitocondrias (ver Sección 1.4.1) y se lo degrada (consume por respiración) completamente, a través del ciclo de ácido cítrico y la cadena de respiración, en muchas etapas intermedias a CO_2 y H_2O, con una enorme ganancia de energía (36 ATP/mol). La levadura es el único ser vivo que, bajo determinadas circunstancias, como la ausencia de aire, puede conmutar a fermentación alcohólica, partir del piruvato:

glucosa ⇨ piruvato ↗ respiración 36 ATP
↘ fermentación alcohólica 2 ATP

En ausencia de oxígeno, la levadura es capaz de fermentar el piruvato. Sin embargo, en presencia de oxígeno, la fermentación es fuertemente restringida o impedida completamente (***efecto Pasteur***). Si, por otro lado, hay azúcar presente en concentraciones mayores que 0,1 g/l, el complejo de enzimas de respiración es inhibido en sí mismo y al mismo tiempo ocurre fermentación parcial (***efecto Crabtree***).

Resumiendo, la fermentación alcohólica se expresa, según la fórmula de Gay-Lussac:

$$C_6H_{12}O_6 \Rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$
$$\Delta G = -230\ kJ$$

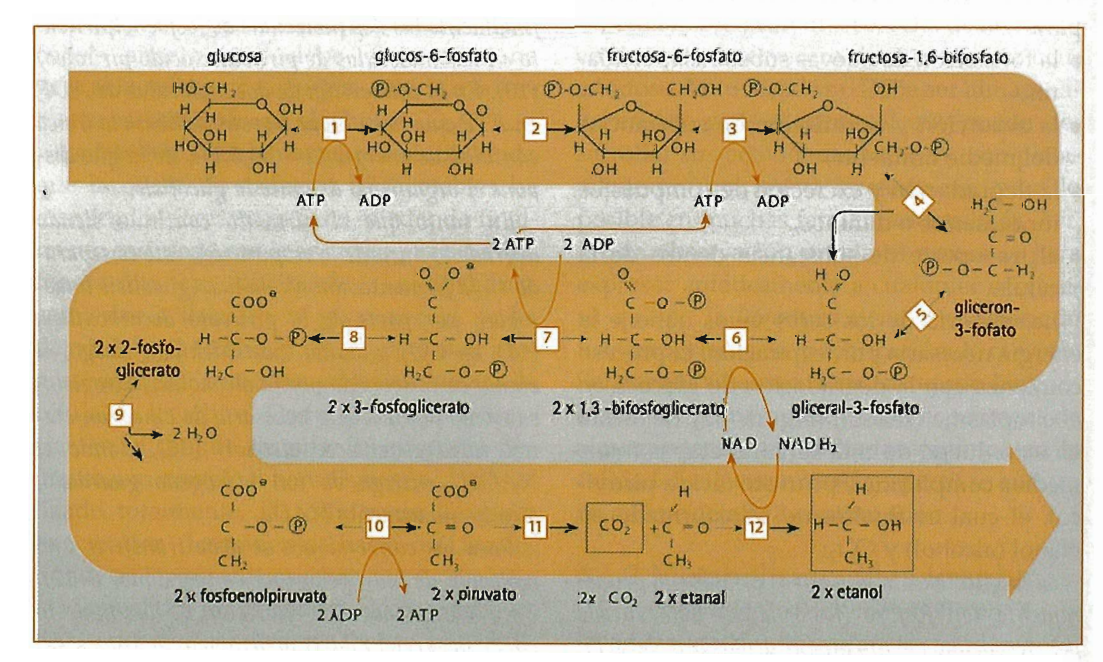


Figura 4.2: Esquema de la fermentación alcohólica, según Embden-Meyerhof-Parnas

Si se calculan cuantitativamente los productos formados según su masa atómica, resultan las siguientes relaciones:

$C_6H_{12}O_6$ ⇨	2 C_2H_5OH +	2 CO_2
C: 72	48	24
H: 12	12	
O: 96	32	64
180	92	88

De 1 mol de glucosa = 180g se forman durante la fermentación alcohólica 92 g de alcohol y 88 g de CO_2. Es decir, que el azúcar es separado en partes casi iguales en masa de alcohol y CO_2 (ver al respecto Sección 7.4.3.1). En esto, la porción volumétrica del dióxido de carbono es incomparablemente más grande que la del alcohol, dado que los gases tienen una densidad substancialmente menor.

De esto viven los panaderos, que fermentan el azúcar en la masa con la levadura de panadería. Si bien se forman iguales (reducidas) partes en masa de alcohol y CO_2, sólo es visible el volumen de gas enormemente grande del dióxido de carbono en la forma de la pastelería blanda.

4.1.2.2.2 Ganancia de energía durante la fermentación

La levadura obtiene su energía de la glicólisis anaerobia. La energía se encuentra en el compuesto que puede ser degradado.

Así, en la asimilación en la planta verde, el agua el suelo con el CO_2 del aire se asimiló a glucosa (bajo formación de oxígeno), por medio de la luz solar y con ayuda de la clorofila (revirtiendo la fórmula de respiración mencionada arriba), habiendo sido la glucosa condensada a almidón en los frutos o tubérculos. La glucosa es así, tal como el almidón, energía química concentrada. Si se quema (o consume por respiración) la glucosa o el almidón, se libera nuevamente esta cantidad de energía. Esto puede ser medido exactamente.

La energía se encuentra aquí en los enlaces químicos, en los cuales los electrones son transportados, utilizando energía, a órbitas más elevadas. Si pueden retornar a su vieja órbita, la energía es liberada nuevamente.

En la naturaleza viva se ha desarrollado un único compuesto, que se encarga permanentemente de la transferencia de energía, dicho de alguna manera: una moneda unitaria de energía, la cual es capaz de hacer efectiva, de otra forma para el organismo, la energía química de carga. Se trata del compuesto ***adenosin trifosfato (ATP)***. El ATP, que se encuentra en todos los seres vivos, está compuesto por la base purina (aquí adenina), un residuo de azúcar con cinco átomos de carbono (aquí ribosa) y tres residuos de fosfatos:

El enlace entre los átomos de fósforo extremo y medio es particularmente rico en energía. Si este enlace es roto, se forman adenosin difosfato (ADP) y fosfato, pero también 30,5 kJ por mol de ATP:

ATP ⇨ ADP + P + 30,5 kJ/mol,

que así le quedan a disposición al organismo, como energía.

Al revés, se requiere naturalmente la misma cantidad de energía para convertir nuevamente ADP en ATP. Con esto, el ATP pasa a ser una especie de "unidad monetaria

de energía", la cual saben usar todas las células animales y vegetales. El ATP pasa a ser el proveedor directo de energía para la gran cantidad de procesos dependientes de la energía. El proceso debe tener lugar permanentemente. No es posible el almacenamiento de grandes "bombas de energía". Si se detiene el suministro de glucosa u otras substancias que pueden ser metabolizadas, ya no se puede ganar más energía, y finalmente la célula muere.

En todos los seres vivos de mayor desarrollo, el piruvato (ácido pirúvico) formado en el citoplasma es transportado luego a las "centrales de energía" de la célula, las mitocondrias, siendo allí, en contacto con oxígeno, degradado completamente a CO_2 y agua y consumido por respiración. La ganancia de energía producida en esto es 38 ATP/mol de glucosa, considerablemente mayor que en la glicólisis. Por ello, en el caso de suministro de oxígeno, la levadura pasa inmediatamente a la respiración, que es energéticamente más rica y la cual le es posibilitada por sus mitocondrias.

La cantidad de ATP y ADP formados es muy reducida. Incluso el cuerpo humano contiene sólo 3 a 4 g de ATP y ADP libres. Por ello, cada molécula de ADP debe ser fosforilada diariamente varios miles de veces a ATP y desfosforilada nuevamente.

Se puede determinar de forma precisa el contenido de energía de un compuesto orgánico a través de una combustión selectiva en una bomba calorimétrica. Así,

la glucosa tiene un contenido energético de	2870 kJ/mol
el alcohol tiene contenido energético de	2640 kJ/mol
De esta manera, el contenido energético se redujo durante la fermentación en de glucosa.	230 kJ/mol

Este valor se denomina entalpía libre (ΔG) y es provisto de un signo negativo, porque se trata de la cantidad de energía liberada en esta reacción.

Pero de esta cantidad de energía sólo está a disposición del organismo –en este caso, la célula de levadura– siempre la parte

- que está ligada con ATP (aquí 2 ATP), como energía química;
- el resto se pierde irremediablemente como calor de reacción.

Esto significa que, de los

ΔG = 230 kJ/mol de glucosa

quedan como suministro de energía a disposición

de la célula de levadura

sólo 2 · 30,5 = 61 kJ/mol de glucosa,

el resto de = 169 kJ/mol de glucosa

es liberado (bajo condiciones normales) como calor y debe ser evacuado como calor de reacción.

En la práctica, se calcula con una generación de calor de 4500 a 4700 kJ/hl de cerveza normal (ver al respecto Sección 4.4.2.2.1).

4.1.2.2 Metabolismo proteico

La célula de levadura está compuesta en un 35 a 60% (de la materia seca) por proteínas. Para la formación de nuevas substancias celulares, requiere por ello de muchas fuentes de nitrógeno, las cuales están presentes en el mosto en forma de aminoácidos. Estos aminoácidos son absorbidos por la levadura en una determinada secuencia, la cual sin embargo no puede ser influenciada por el cervecero. Son absorbidos únicamente los aminoácidos de bajo peso molecular, de hasta cuatro átomos de carbono. Para la levadura es importante aquí el grupo libre de NH_2, el grupo amino, el cual ella extrae y utiliza para la formación de proteínas propias de la célula (FAN, ver también Sección 1.1.4.2.2). Se forma en esto, a partir del aminoácido, por desaminación (extracción y

transposición del grupo amino), descarboxilación (extracción de CO_2) y reducción (extracción de oxígeno) un alcohol superior, el cual es nuevamente excretado (mecanismo Ehrlich) como producto secundario de fermentación (ver Sección 4.1.3). Esta transformación está representada en la Figura 4.2a. En esto, la R (radical) representa una cadena de longitud variable de $(CH_2)n$ +H.

aminoácido $R-CH(NH_2)-COOH$ + ½ CO_2

↓ *desaminación*

α-ketoácido $R-CO-COOH$ + NH_3

↓ *descarboxilación*

aldehído $R-CHO$ + CO_2

↓ *reducción*

alcohol alto $R-CH_2-OH$

Una medida para un buen abastecimiento con aminoácidos es un contenido de 200 a 230 mg/l de α-aminonitrógeno libre (FAN) (referido a un mosto al 12%). Este valor se alcanza siempre en mostos de maltas bien modificadas. Los mostos que son producto de la coutilización de adjuntos o azúcar requieren ser controlados al respecto (es recomendable un mayor reposo proteico durante la maceración). La absorción de aminoácidos del mosto ocurre a través de las proteínas de poros de la pared celular. Primeramente son acumulados y enriquecidos en un pool externo. Posteriormente, los aminoácidos son conducidos, según requerimiento, a un pool interno, que tiene un tamaño constante. Aquí ocurre luego la conversión (la transaminación) y la incorporación de las proteínas propias de la célula.

Por ello, el metabolismo proteico es de gran importancia para la calidad de la cerveza producida a partir del mismo, porque muchos de los productos metabólicos formados en esto son devueltos a la cerveza, pudiéndose con ello influenciar substancialmente el sabor y su estabilidad, pero particularmente la retención de espuma y otros factores.

En la levadura actúan más de 40 enzimas proteolíticas, las cuales se subdividen en cuatro familias, de acuerdo con su mecanismo de acción, (serinproteasas, cisteinproteasas, carboxilproteasas, metaloproteasas). Entre estas proteasas, ocupa en particular la proteinasa A de levadura un lugar especial: ésta empeora la estabilidad de la espuma de la cerveza, degradando durante el almacenamiento la proteína de transferencia de lípidos (LTP1), proveniente de la cebada, y que es un componente principal de la espuma de la cerveza [261]. El efecto de la proteinasa A de levadura puede conducir, especialmente en cervezas envasadas asépticamente en frío, a una desmejora adicional de la estabilidad de espuma (ver Sección 4.4.4.1), porque tampoco puede ser extraída por filtración.

4.1.2.3 Metabolismo de grasas

Las grasas forman, junto con las proteínas y el fósforo, como fosfolípidos, las membranas celulares alrededor de las células de levadura y alrededor de los orgánulos en el interior de la célula (ver Sección 1.4.1). Dado que la levadura se propaga durante la fer-

mentación en cuatro a seis veces su masa, debe formarse una cantidad correspondiente de lípidos. Esta formación de lípidos requiere oxígeno.

La levadura absorbe ácidos grasos presentes en el mosto. Pero, también es capaz de formar ella misma ácidos grasos: Pero para esto, ella necesita oxígeno. La formación comienza con el piruvato (ácido pirúvico) y prosigue a través de ácido acético activado, como producto intermedio. La levadura también es capaz de formar ácidos grasos insaturados, para cuya formación también se requiere oxígeno. Los ácidos grasos insaturados tienen una gran influencia sobre la ductilidad de la membrana celular. Si hay demasiado pocos ácidos grasos insaturados de cadena larga presentes, puede sufrir la capacidad de absorción de la membrana celular o puede detenerse completamente la absorción de aminoácidos.

El metabolismo proteico tiene prioridad frente al metabolismo de grasas. El metabolismo de grasas recién comienza cuando las fuentes de nitrógeno están ampliamente consumidas. Dado que por otro lado el metabolismo de grasas está ligado al oxígeno, es de importancia decisiva una síntesis de los ácidos grasos, por medio de una provisión buena y abundante de oxígeno, al inicio de la fermentación.

Los ácidos grasos de cadena larga producidos por la levadura no deben ser valorados negativamente para la estabilidad de sabor de la cerveza (ver Sección 4.6.4), dado que están ligados firmemente en las membranas celulares. Sin embargo, con el inicio de la autolisis, existe un altísimo riesgo, dado que los ácidos grasos insaturados liberados son muy propensos a reaccionar.

4.1.2.4 Metabolismo de hidratos de carbono

La levadura absorbe los monosacáridos (glucosa y fructosa) y los disacáridos (msuperioresa y sacarosa) contenidos en el mosto, así como el trisacárido maltotriosa y los fermenta en ese orden. Se puede contar con que se fermenta aproximadamente el 98% de los azúcares y se consume por respiración sólo el 2% (ver al respecto Sección 4.1.2.1).

Una muy reducida porción de la msuperioresa (aproximadamente 0,25%) es formada por la levadura como hidrato de carbono de reserva. El hidrato de carbono de reserva más importante es el glicógeno, un polímero de la glucosa, el cual es formado y acumulado como rosetas de glicógeno en el citoplasma. El glicógeno presente en la célula de levadura es utilizado antes del inicio de la fermentación por la célula de levadura, como fuente primaria de energía. Es por ello que el contenido de glicógeno disminuye considerablemente en las primeras diez a doce horas para aumentar luego nuevamente. Con el curso de la fermentación, el contenido puede aumentar hasta aproximadamente 30% de la materia seca de levadura. Durante el almacenamiento de la levadura, el contenido de glicógeno disminuye considerablemente, y tanto más cuanto más caliente y prolongadamente se almacena la levadura. En el caso de un almacenamiento frío de la levadura, el contenido de glicógeno se mantiene ampliamente [175]. Esto es de gran importancia para el mantenimiento de la actividad fermentativa.

Junto con el glicógeno, la célula de levadura contiene trehalosa hasta 6% de la materia seca, como hidrato de carbono de reserva. La trehalosa es un disacárido de residuos de glucosa. La trehalosa se encuentra en el citoplasma de la célula de levadura; una parte está ligada a la pared celular y protege a ésta contra influencias externas. También con la trehalosa comienza, pocas horas después del inicio de la fermentación, primeramente una degradación y poco después la formación y depósito de la trehalosa, que se desarrolla más rápida e intensivamente con

temperaturas en aumento [176].

Los hidratos de carbono de reserva, en especial el glicógeno, tienen una gran importancia para la levadura. La célula de levadura puede metabolizar estas substancias de reserva, tan pronto como haya finalizado el suministro externo de nutrientes. De esta manera, ella es capaz de cubrir su requerimiento de energía y de mantener las funciones metabólicas elementales. Esto corresponde en especial a la situación al final de la fase de almacenamiento en frío en el tanque y el almacenamiento de la levadura hasta el próximo inicio de fermentación.

4.1.2.5 Metabolismo mineral

De los minerales, la levadura requiere sobre todo fósforo y azufre, así como diversos iones metálicos en pequeñas cantidades.

El fósforo proviene de la malta en forma de fosfatos y está siempre presente en cantidad suficiente en las maltas bien modificadas. El fósforo se requiere:

- para la formación de ATP (ver Sección 4.1.2.2.2),
- para la formación de la membrana doble de fosfolípidos alrededor de la célula de levadura,
- para la tamponación frente a desplazamientos del valor pH.

Una deficiencia de fosfatos acarrea:

- dificultades de fermentación y
- disminución del crecimiento celular.

El azufre es absorbido por la levadura como sulfato inorgánico, pero también como aminoácido con contenido de azufre (metionina, cisteina), y el SO_2 es incorporado en el metabolismo de aminoácidos propio de la célula. Aunque el crecimiento celular se haya detenido, se continuará excretando SO_2 formado, hasta que finalmente la formación de SO_2 haya cesado, con la finalización del metabolismo [181].

La formación de SO_2 es reducida por todos los factores que favorecen la propagación de levadura, por ejemplo:

- fuerte aireación,
- adición repetida del mosto por etapas,
- utilización de levadura activa y rica en glicógenos.

A alta temperatura, tiempo de almacenamiento prolongado y aireación inadecuada se obtienen contenidos elevados de sulfitos.

Es importante en esto que el aldehído acético sea capaz, junto con el SO_2, de ligar carbonilos y de retardar con ello el envejecimiento de la cerveza. Es por ello que el SO_2 formado durante la fermentación tiene un efecto positivo sobre la estabilidad de sabor de la cerveza.

Debe agregarse que en muchos países se le adiciona sulfito a la cerveza para la estabilización del sabor (no permitido, según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot").

Junto con la formación de sulfito, la formación de sulfuros, en especial el sulfuro de dimetilo (DMS), cumple en particular un papel esencial, pero más bien negativo, en el metabolismo de azufre (ver Sección siguiente).

- El *potasio* es requerido en especial para el metabolismo de hidratos de carbono y favorece todas las reacciones enzimáticas, que se desarrollan con ATP. Es importante también el papel regulador de valor pH que cumple el potasio en el intercambio de iones de hidrógeno en formación, por iones de potasio (bomba iónica).
- El *sodio* activa enzimas; al mismo tiempo, el sodio cumple un papel esencial para el transporte de substancias a través de la membrana celular.
- El *magnesio* es importante para las reacciones con fósforo, sobre todo durante la fermentación. En esa función, no puede ser substituido por otros iones.
- El *calcio* retarda la degeneración de la levadura y favorece la formación de flóculos. En caso de deficiencia, el lugar del calcio puede ser ocupado por manganeso o magnesio.

- El *hierro* y el manganeso son importantes oligoelementos en el metabolismo de respiración y la gemación celular.
- El *cinc* influye sobre la síntesis proteica y es importante para la fermentación, como oligoelemento. Una deficiencia de cinc es causante de perturbaciones sensibles de fermentación. El requerimiento se encuentra aproximadamente en 0,10 a 0,15 mg de cinc/l de mosto. El cinc es el oligoelemento, en el cual frecuentemente se manifiestan deficiencias, porque la mayor parte del cinc suministrado permanece en las heces. Es por ello que algunas fábricas de cerveza deben tomar medidas para suministrar a su levadura el cinc requerido (ver al respecto Sección 3.2.1.7).

El nitrato no es utilizado por la levadura, pero es reducido a nitrito. Pero el nitrito es un veneno de levadura y causa una mala propagación y una fermentación pobre. Los nitratos provienen principalmente del agua para cerveza. Un sobrefertilización de los campos en el área de captación de las plantas potabilizadoras de agua puede tener como consecuencia un elevado contenido de nitratos. Para la levadura, ya 20 mg de nitrato/l son peligrosos.

El suministro separado de nutrientes no está permitido de acuerdo con la Ley de Pureza "Reinheitsgebot". Por otro lado, en la industria de levadura para panificación, se fuerza grandemente la formación de nuevas células de levadura (biomasa), por medio de un abundante suministro de sales de amonio y otras sales, y bajo aireación intensiva -una indicación al respecto de que la levadura forma suficiente substancia celular nueva si dispone de suficientes nutrientes y sobre todo de oxígeno.

4.1.3 Formación y degradación de productos secundarios de fermentación

Durante la fermentación, una serie de productos de metabolismo es pasada, por la levadura, a la cerveza. Algunos de estos productos reaccionan entre sí o se modifican en cantidad y composición. Estos productos secundarios de fermentación tienen una influencia decisiva sobre la calidad de la cerveza en formación. Por esto, el metabolismo de la levadura y la formación y degradación de los productos secundarios de fermentación deben ser considerados de forma conjunta. Si aun así los productos secundarios de fermentación son tratados separadamente, ello debe ser visto especialmente bajo el aspecto de que el cervecero debe tratar de mantener su contenido dentro de un límite óptimo, a través de medidas tecnológicas apropiadas.

Para ello, se consideran de forma separada la formación y la degradación de los siguientes subproductos de fermentación:

- diacetilo,
- alcoholes superiores,
- ésteres,
- aldehídos,
- compuestos de azufre.

Se distingue en esto (Figura 4.3):

- *Substancias de bouquet de cerveza verde (diacetilo, aldehídos, compuestos de azufre).* Éstas le otorgan a la cerveza un sabor y un olor impuro, joven, inmaduro, inarmónico y en alta concentración afectan negativamente la calidad de la cerveza. Pueden ser extraídas nuevamente de la cerveza durante el desarrollo de la fermentación y la maduración por medios bioquímicos. En ello reside el objetivo de la maduración de la cerveza.
- *Substancias de bouquet (alcoholes superiores, ésteres).* Éstas determinan de forma esencial el aroma de la cerveza y su presencia es, bajo determinados rangos de concentración, una precondición para una cerveza de calidad. Al contrario de las substancias de bouquet de cerveza verde, las substancias de bouquet no pueden ser extraídas nuevamente de la cerveza por medios tecnológicos.

Figura 4.3
Desarrollo de la concentración de subproductos de fermentación durante la fermentación y la maduración
a) substancias de bouquet,
b) substancias de bouquet de cerveza verde

4.1.3.1 Diacetilo (dicetonas vecinales)

El diacetilo es la substancia de bouquet de cerveza verde más importante. Le otorga a la cerveza, al exceder el índice de perceptibilidad, un sabor impuro, dulzón hasta desagradable, el cual en elevada concentración es responsable del aroma a manteca. Dado que también la pentadiona actúa de igual manera, pero con un índice de perceptibilidad considerablemente más alto, se denomina a estas substancias como dicetonas vecinales, por tratarse ambas substancias de dicetonas con grupos adyacentes cetónicos:

diacetilo $H_3C - \overset{\overset{\large O}{\|}}{C} - \overset{\overset{\large O}{\|}}{C} - CH_3$

2,3-pentadiona $H_3C - \overset{\overset{\large O}{\|}}{C} - \overset{\overset{\large O}{\|}}{C} - C_2H_5$

La degradación de estas dicetonas vecinales se desarrolla durante el proceso de maduración de cerveza paralamente a otros procesos de maduración y se la considera por ello hoy en día como criterio esencial (substancias indicadoras) para el grado de maduración de una cerveza.

La formación y degradación de las dicetonas vecinales se desarrolla en tres etapas.

1ª etapa: Formación de los precursores

En su metabolismo, la levadura forma únicamente los precursores de las dicetonas vecinales. Estos precursores carecen de sabor y olor y no son comprobables en la cerveza. Se forman en la síntesis de aminoácidos de la levadura. Un punto de partida de esta síntesis es en esto el producto intermedio ácido pirúvico (piruvato), formado en la glicólisis (ver Sección 4.1.1). Los acetohidroxiácidos son excretados por la célula de levadura al substrato de fermentación. Su formación depende de los siguientes factores [34]:

- *Cepa de levadura*: el momento de formación y la cantidad de ácidos son características específicas de la cepa de levadura.
- *Adición de levadura*: una mayor adición de levadura lleva a una formación más intensiva de acetohidroxiácidos. Pero mayores adiciones de levadura estimulan también una degradación más rápida e intensiva.
- *Oxígeno*: el oxígeno conduce a una mayor formación de acetohidroxiácidos por parte de la levadura.

Sin embargo, la influencia de estos factores no es tan fuertemente pronunciada, de manera que la formación de los acetohidroxiácidos no es influenciable de forma eficaz a través de medidas apropiadas

2ª etapa: Transformación de los precursores

De los acetohidroxiácidos se forman, por fuera e independientemente de célula de levadura, las dicetonas vecinales diacetilo y

pentadiona, por descarboxilación oxidativa. Esta transformación ocurre de forma relativamente fácil. Es estimulada por:

- *Disminución del valor pH;* con valores pH entre 4,2 y 4,4 ocurre una rápida transformación y ésta disminuye con valor pH creciente.
- *Incremento de temperatura;* por calentamiento ocurre una transformación más rápida.
- *Introducción de oxígeno;* la absorción de oxígeno en la cerveza conduce a una rápida transformación de los precursores en su dicetonas vecinales.

La transformación de los precursores en sus dicetonas vecinales limita la velocidad de maduración.

3ª etapa: Reducción de las dicetonas

El diacetilo y la pentadiona formados ahora sólo pueden continuar siendo degradados con ayuda de la célula de levadura, reduciendo con ello una influencia negativa en el sabor. La degradación ocurre por reducción de

diacetilo → acetoína → butandiol.

El butandiol tiene un índice de perceptibilidad muy elevado y ya no es percibido en la cerveza.

La degradación del diacetilo es favorecida por los siguientes factores:

- Durante la fermentación, la levadura dispone de una gran capacidad para la degradación de las dicetonas. La capacidad de degradación de la levadura es aproximadamente diez veces mayor que la de formación durante la fermentación.
- La capacidad para la degradación de diacetilo permanece constante durante la fermentación principal y disminuye gradualmente durante la fermentación secundaria (posfermentación).
- Entre las cepas de levadura hay pequeñas diferencias en la capacidad para degradar diacetilo.
- La degradación de diacetilo es fuertemente dependiente de la temperatura y aumenta mucho con mayor temperatura (Figura 4.4).
- La velocidad de degradación de diacetilo es fuertemente dependiente de la concentración de levadura en la cerveza en maduración.
- La velocidad es dependiente de los factores que estimulan, respectivamente inhiben, un contacto intensivo entre la cerveza que contiene diacetilo y la levadura. Evitando la sedimentación de la levadura, por ejemplo por trasiego (transferencia por bomba), alivio de presión u otros, se estimula la degradación de diacetilo.
- La degradación de diacetilo es estimulada por adición de Krausen, dado que la fuerza reductora de la levadura es máxima durante la propagación de células.

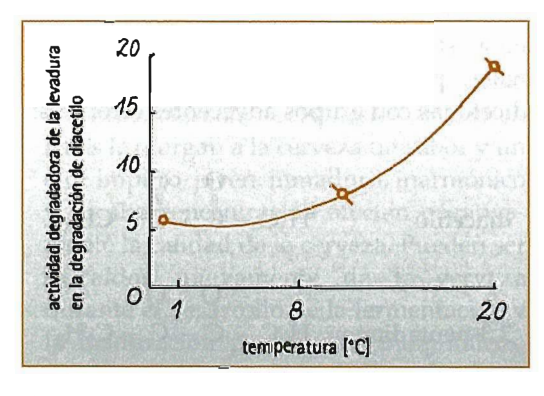


Figura 4.4
Influencia de la temperatura sobre la degradación de diacetilo por parte de la levadura

Los precursores de las dicetonas vecinales son los acetohidroxiácidos. La cantidad de acetohidroxiácidos presentes está en relación con la cantidad de las dicetonas vecinales formadas [111].

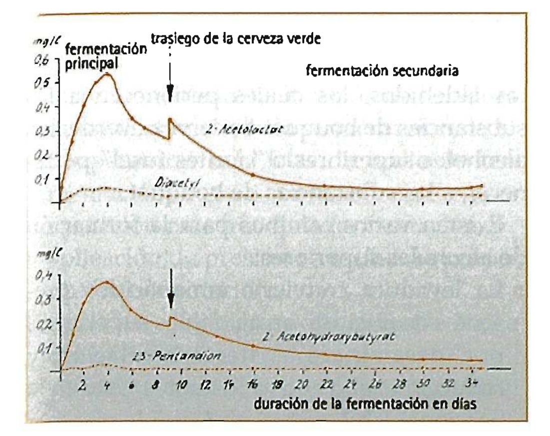


Figura 4.5
Comportamiento de los acetohidroxiácidos y las dicetonas vecinales, en dependencia de la duración de proceso [97]

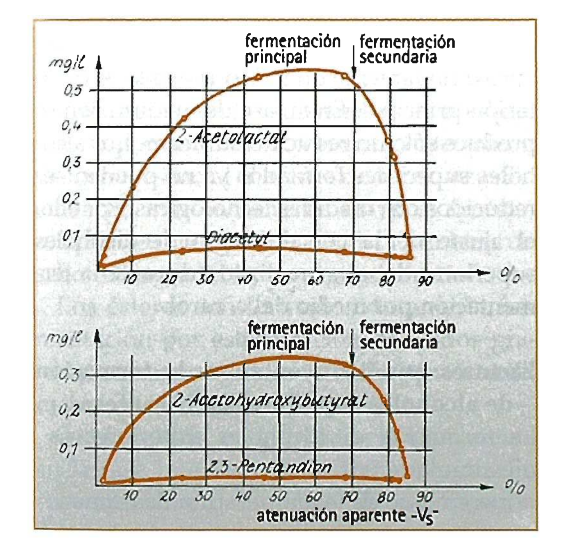


Figura 4.6
Comportamiento de los acetohidroxiácidos y las dicetonas vecinales, en dependencia del grado de atenuación aparente de la cerveza [97]

Del curso de las curvas en las figuras 4.5 y 4.6 se reconoce claramente:

- durante los primeros días de la fermentación principal los acetohidroxiácidos aumentan muy fuertemente,
- por absorción de oxígeno durante el trasiego, se incrementa nuevamente la porción de acetohidroxiácidos,
- durante la fermentación secundaria ocurre una degradación progresiva de los acetohidroxiácidos y dicetonas vecinales,
- con el aumento del grado de atenuación, los acetohidroxiácidos y las dicetonas vecinales aumentan primeramente y disminuyen durante la fermentación secundaria con el aumento progresivo del grado de fermentación.

Pero esto significa también:

Cada absorción de oxígeno, como por ejemplo durante el trasiego (transferencia por bombeo), conduce a un aumento del contenido de diacetilo en la cerveza verde, debiendo éste posteriormente ser reducido nuevamente por la levadura en fermentación.

Conclusiones para las operaciones de fermentación

- El contenido de diacetilo (dicetonas vecinales) puede ser considerado como criterio para juzgar el grado de maduración de la cerveza. Con el progresivo acortamiento del tiempo de fermentación y maduración aumenta la importancia del control del contenido de diacetilo.
- Debe ocurrir una rápida transformación de los acetohidroxácidos en dicetonas vecinales –para ello, sirve una fermentación rápida hasta casi la atenuación límite, un bajo valor pH y evitar un ingreso ulterior de oxígeno luego del inicio de la fermentación, así como fermentación y maduración a mayores temperaturas (en cervezas de fermentación baja hasta 18°C).
- Para la fase de maduración se requieren células de levadura activas y vitales. Se debe evitar la sedimentación de la levadura por medio de medidas apropiadas. Es importante una determinada concentración de células de levadura activas y vitales.

El valor aproximado para el contenido total de diacetilo (dicetonas vecinales y precursores) para una cerveza totalmente madura es, como máximo
0,1 mg/l.

4.1.3.2 Aldehídos (carbonilos)

El aldehído más importante es el acetaldehído, el cual se forma como producto intermedio normal durante la fermentación alcohólica (ver esquema de fermentación). El acetaldehído es excretado por la levadura durante los tres primeros días en la cerveza verde. Es responsable del sabor "verde" de la cerveza joven, el cual también es denominado sabor de cava o a moho.

En el subsequente desarrollo de la fermentación, la concentración del acetaldehído disminuye por la subsequente degradación. De esta manera, el sabor a cerveza verde decrece continuamente.

En la fase de cerveza verde, el contenido de aldehído es aproximadamente 20 a 40 mg/l, disminuyendo a valores por debajo de 8 a 10 mg/l en la cerveza terminada.

La concentración de acetaldehído es estimulada por:

- fermentación intensiva,
- incremento de temperatura durante la fermentación,
- aumento de la dosificación de levadura,
- aplicación de presión durante la fermentación principal,
- aireación demasiado reducida del mosto y
- mostos infectados.

La degradación del aldehído formado es favorecida por:

- todas las medidas para la fermentación secundaria y maduración intensivas,
- una fase más caliente de maduración,
- una aireación suficiente del mosto y
- una concentración aumentada de levadura durante la fase de maduración.

4.1.3.3 Alcoholes superiores

Al contrario de las dicetonas vecinales y los aldehídos, los cuales pertenecen a las substancias de bouquet de cerveza verde, los alcoholes superiores o "aceites fusel" pertenecen a las substancias de bouquet.

Existen varios caminos para la formación de alcoholes superiores:

- La levadura convierte aminoácidos presentes en el mosto en alcoholes superiores, por desaminación, descarboxilación y reducción, tal como ya lo hemos visto en la Sección 4.1.2.2.
- La formación de alcoholes superiores también puede ocurrir a través de los hidroxiácidos o cetoácidos.
- Los alcoholes superiores también se forman a partir de azúcar, a través de acetato.

Los alcoholes superiores se forman en aproximadamente un 80% durante la fermentación principal. En la fase de maduración se produce sólo un reducido aumento. Los alcoholes superiores formados ya no pueden ser reducidos con medidas tecnológicas. Por ello, el ajuste de la concentración de alcoholes superiores debe ser realizado durante la fermentación por medio del control.

Factores que influyen sobre la formación de alcoholes superiores en la cerveza:

La formación de alcoholes superiores es estimulada por

- incremento de la temperatura de fermentación,
- movimiento de la cerveza verde, por ejemplo, por agitación o trasiego,
- disminución de la concentración de aminoácidos en el mosto,
- aireación intensiva del mosto al inicio de la fermentación,
- adición intensiva del mosto por etapas,
- temperaturas de inicio de fermentación por encima de 8°C y
- aumento de la concentración de mosto por encima de 13%.

La formación de alcoholes superiores es atenuada por

- incremento de la dosificación de levadura durante el inicio de la fermentación,
- temperaturas más frías de inicio de fermentación,
- operación más fría de la fermentación,
- aplicación de presión ya en la fase primaria de fermentación,
- evitación del ingreso de oxígeno luego del inicio de fermentación y
- suficiente contenido de aminoácidos en el mosto al inicio de la fermentación.

Las concentraciones de alcoholes superiores mayores que 100 mg/l deterioran el sabor y la digestibilidad de la cerveza. El contenido de alcoholes superiores en cervezas normales claras se encuentra en 60 a 90 mg/l.

4.1.3.4 Ésteres

Los ésteres son las substancias de bouquet más importantes de la cerveza y determinan de forma esencial el aroma de la cerveza. Sin embargo, concentraciones mayores de ésteres pueden otorgar a la cerveza también un sabor desagradable, amargo y a frutas.

Los ésteres son formados durante la fermentación por esterificación de ácidos grasos y, en menor grado, también por esterificación de alcoholes superiores.

Su concentración aumenta principalmente en la fase intensiva de la fermentación. Su concentración en la fase de maduración depende de la fermentación secundaria y puede conducir a hasta una duplicación de la cantidad de ésteres en el caso de una prolongada fermentación secundaria.

Se han encontrado en la cerveza aproximadamente 60 ésteres diferentes, de los cuales, sin embargo, sólo aproximadamente seis son de mayor importancia para las propiedades de sabor de la cerveza:

- acetato etílico
- isoamilacetato
- acetato isobutílico
- β-fenilacetato
- etilcaproato
- etilcaprilato

El contenido de ésteres depende del tipo de cerveza y del contenido de mosto original.

- Las cervezas de fermentación alta tienen hasta 80 mg de ésteres/l.
- Las cervezas de fermentación baja tienen hasta 60 mg de ésteres/l.

A pesar de todo, no se sabe siempre, si se desea tener más o menos ésteres en la cerveza.

La forma más sencilla de influir sobre el contenido de ésteres es a través del contenido de mosto original, porque el contenido de ésteres aumenta con el contenido de mosto original. Por otro lado, el contenido de ésteres disminuye con altura de tanque creciente, porque aumentan con ello la presión hidrostática y el contenido de dióxido de carbono [33].

También está en una relación estrecha con la formación de ésteres el abastecimiento de oxígeno de la levadura, el cual afecta por su lado, aparte de la respiración y la fermentación, la síntesis de grasas.

Mientras se forman ácidos grasos, se encuentra detenida la síntesis de los ésteres. De acuerdo con esto, la formación de ésteres es un proceso muy complicado, y la influencia sobre la formación de ésteres no es tan sencillamente posible. La formación de ésteres es influenciada por los siguientes factores:

▸ **La formación de ésteres es estimulada por**

- aumento de la concentración de mosto por encima de 13%,
- aumento de la atenuación límite y de la atenuación alcanzada,
- intensificación de la aireación del mosto,
- mayores temperaturas de fermentación,
- movimiento creciente en la fermentación y la maduración.

▸ **La formación de ésteres es atenuada por**

4

- bajas concentraciones de mosto,
- baja atenuación límite,
- evitación de la aireación del mosto,
- menores temperaturas de fermentación,
- presión creciente durante la fermentación.

En cervezas de fermentación alta, sobre todo en la utilización de levaduras para la fabricación de cervezas de trigo, se produce la formación de substancias aromáticas especiales, las cuales otorgan a la cerveza un aroma característico. Pertenecen a éstas por ejemplo el 4-vinilo-guajacol y otros compuestos, los cuales se detallarán más profundamente en la Sección 7.3.1.2.

4.1.3.5 Compuestos de azufre

Debido al metabolismo de la levadura, se forman compuestos volátiles de azufre, como H_2S, mercaptano y otros compuestos, los cuales ya en muy bajas concentraciones son muy intensos en olor y sabor.

Al exceder su índice de perceptibilidad, otorgan a la cerveza un sabor inmaduro y joven.

Un menoscabo tal de sabor en la cerveza debido a compuestos volátiles de azufre también puede ocurrir por infección del mosto con termobacterias, que desarrollan justo estos subproductos.

El sulfuro de hidrógeno se forma durante la fermentación alcohólica a partir de aminoácidos que contienen azufre. También la deficiencia o pérdida de substancias de crecimiento en la levadura puede conducir a un mayor contenido de H_2S en el mosto.

El sulfuro de hidrógeno es levemente volátil y es desorbido parcialmente por el dióxido de carbono ascendente durante la fermentación y la maduración. La cantidad desorbida aumenta

- con temperatura creciente y
- altura creciente de líquido.

La transformación química y bioquímica del H_2S en la cerveza debe ser considerada como un factor importante de la fermentación y la maduración de la cerveza.

Los mercaptanos son tioalcoholes. Éstos son compuestos, en los cuales el grupo OH del alcohol es substituido por un grupo SH. Pertenecen a los compuestos que más pueden deteriorar el aroma de la cerveza. Son corresponsables del así llamado sabor a cerveza asoleada.

El contenido de mercaptano aumenta hasta un grado de fermentación de 60 a 70%, disminuyendo luego nuevamente. Debido al ingreso de oxígeno, son oxidados a los disulfuros sensorialmente menos peligrosos.

- Sulfuro de dimetilo (DMS)

En general, se extrae por lavado en fermentación caliente más DMS que en fermentación fría. Con contrapresión se inhibe la extracción por lavado.

Con reposo creciente, aumenta nuevamente de forma leve el contenido de DMS. Por lo general, se encuentra nuevamente en la cerveza terminada el contenido de DMS correspondiente al mosto al inicio de la fermentación.

4.1.3.6 Ácidos orgánicos

La cantidad principal de ácidos orgánicos presentes en la cerveza es formada por la levadura, mediante la transformación de los aminoácidos contenidos en el mosto: la levadura extrae de los aminoácidos el grupo amino (- NH_2), el cual ella requiere para la formación de substancias albuminoideas propias de la célula y libera los ácidos orgánicos así desaminados en la cerveza. Con ello, aparte de los alcoholes superiores formados por un metabolismo similar, resulta también con los ácidos orgánicos un amplio espectro en la cerveza, que puede afectar el sabor.

.1.3.7 Criterios de apreciación de las substancias aromáticas en la cerveza (según Miedaner)

ubstancia aromática	Rango de concentración mg/l	Índice de perceptibilidad mg/l	Impresión aromática
icoholes superiores:			
-metilpropanol	5-20	10-(200)	alcohol
-metilbutanol	10-20	10-(65)	alcohol, solvente
-metilbutanol	35-70	30-(70)	alcohol, banana
-feniletanol	10-20	28-(125)	rosas
	30-50		(en cerveza de trigo)
ésteres:			
acetato de etilo	5-30	25-30	a frutas, caramelo ácido
acetato de isobutilo	0,1	0,4-(1,6)	a frutas, banana
acetato de isopentilo	0,5-2,5	1-1,6	a frutas, banana
etilbutirato	0,3	0,4	papaya, manzana
etilhexanoato	0,1-0,3	0,12-0,23	manzana, a frutas
etildodecanoato	0,02	3,5	a jabón, a ésteres
etillactato	0,1-0,5	250	a frutas, frutilla
	0,4-0,8		(en acidificación biol.)
ácidos orgánicos:			
ácido butírico	0,2-0,6	1,2-2,2	a queso, rancio
ácido isovaleriánico	0,5-1,2	1,5-1,6	a queso, lúpulo viejo
ácido octanoico	3-10	10-13	aceitoso
ácido decanoico	0,8	10	rancio
ácido dodecanoico	0,1-0,5	6	a jabón
dicetonas vecinales:			
diacetilo	0,1	0,10-0,15	dulzón, desagradable
acetoína	3	8-20	a frutas
compuestos de azufre:			
sulfuro de dimetilo	0,03-0,12	0,10-0,12	verduras, mohoso

▸ Factores que afectan el desarrollo de subproductos de fermentación:

- Las substancias de bouquet de cerveza verde del grupo de los aldehídos y los compuestos de azufre deben ser controlados esencialmente por medio de las mismas medidas tecnológicas que las usadas para las dicetonas vecinales.
- La operación de procesos durante la fermentación y la maduración debe garantizar un determinado contenido de substancias de bouquet en la cerveza.
- El contenido de ésteres en la cerveza es influenciado más fuertemente por la cali-

dad del mosto. El contenido de alcoholes superiores es influenciado más fuertemente por la operación de proceso.

4.1.4 Otros procesos y transformaciones

4

Aparte de la formación de subproductos, se presenta durante la fermentación una serie de otros procesos y transformaciones, que son de gran interés para nosotros. Éstos incluyen

- el cambio en la composición de las substancias albuminoideas,
- la disminución del valor pH,
- el cambio en las propiedades redox de la cerveza,
- el aclarado del color de la cerveza,
- la precipitación de compuestos amargos y taninos,
- la disolución de CO_2 en la cerveza y
- la clarificación de la cerveza.

4.1.4.1 Cambios en la composición de las substancias albuminoideas

La levadura excreta nuevamente durante la fermentación y la maduración una parte de las substancias albuminoideas como aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular. Estos procesos de excreción deben entenderse como dos etapas:

Procesos de excreción de la célula de levadura, que tienen lugar luego de finalizada la fermentación principal

La oferta de nutrientes se ha agotado substancialmente. La levadura vive, pero los procesos vitales se han debilitado. La levadura excreta ahora substancias, las cuales contribuyen, dentro de un marco determinado, a redondear el sabor y a aumentar el cuerpo. Estas substancias incluyen aminoácidos y péptidos, vitaminas, fosfatos, glicoproteínas y enzimas. Este cambio de sabor de la cerveza puede ser considerado como una importante contribución para la maduración de la cerveza. Por ello, una extracción demasiado temprana de la levadura puede producir cervezas vacías y secas, aun cuando después se madure durante más tiempo.

Procesos de excreción, que suceden por una degradación irreversible de substancia propia de la célula, con ayuda de enzimas propias de la célula.

Estos procesos conducen a la autodegradación (autolisis) de las células de levadura (ver al respecto Sección 4.4.4). Cuando ocurre la autolisis, se causan los siguientes deterioros cualitativos:

- importante deterioro del sabor en dirección hacia un sabor extraño a levadura y a creosota,
- aumento del valor pH en la cerveza, debido a excreción de aminoácidos básicos,
- cambio en el color de la cerveza,
- empobrecimiento de la estabilidad biológica y coloidal,
- decrece la retención de espuma,
- el amargor es más amplio y persistente,
- los valores de diacetilo aumentan como consecuencia de una reducción deficiente,
- las infecciones de la cerveza ocurren más frecuentemente,
- reducida estabilidad de sabor por reducida reducción,
- problemas de filtración.

Dado que aproximadamente el 70% de las proteínas precipitadas se encuentran en la cerveza en forma de aminoácidos, se puede detectar el inicio de la autolisis por un excesivo aumento del contenido de aminonitrógeno.

4.1.4.2 Disminución del valor pH

El valor pH disminuye considerablemente durante la fermentación

- de 5,3 a 5,6, en el caso de acidificación biológica de 5,0 a 5,3 en el mosto al inicio de la fermentación, hasta
- 4,2 a 4,6 en la cerveza.

El valor pH disminuye particularmente en las fases primaria y logarítmica, debido a

la formación de ácidos orgánicos por desaminación,
el consumo de fosfatos primarios por parte de la levadura,
la absorción de iones de amonio (- NH_2) por la levadura y
la absorción de iones de potasio por la levadura y la entrega de iones hidrógeno a la cerveza.

Durante la fase de fermentación, el valor pH ya sólo disminuye lentamente y finalmente permanece constante.

Un incremento del valor pH indica una incipiente autolisis de la levadura.

El valor pH tiene una influencia esencial sobre la calidad de la cerveza. El objetivo es lograr un valor pH entre 4,2 y 4,4 en la cerveza.

Un valor pH por debajo de 4,4 estimula

- la precipitación de compuestos coloidales inestables de proteínas-polifenoles,
- la velocidad de maduración,
- refina el sabor de la cerveza y
- es precondición para una mejor estabilidad biológica de la cerveza.

Valores de pH más bajos (en particular por debajo de 4,1) conducen a un sabor ácido de la cerveza y deben ser evitados. Debe excluirse completamente una acidificación por infecciones microbianas durante la fermentación y la maduración.

Los siguientes factores favorecen una disminución del valor pH:

- ablandamiento del agua para cerveza (alcalinidad residual por debajo de 5°d),
- acidificación biológica de la templa y el mosto,
- medidas para aumentar la atenuación límite,
- reducida diferencia entre atenuación alcanzada y atenuación límite,
- evitación de manifestaciones de autolisis,
- calidad del mosto y medidas para una buena propagación de levadura y
- medidas para una buena intensidad de fermentación (mayor temperatura, dosificación de levadura).

4

4.1.4.3 Cambios en las propiedades redox en la cerveza

Como propiedades redox o potencial redox se entiende la relación de fuerzas reductoras y oxidantes en una solución. Un importante cambio en la fermentación del mosto es el aumento de la fuerza reductora de la cerveza. El aumento de la fuerza reductora está en estrecha relación con el consumo, por parte de la levadura, del oxígeno disuelto en el mosto.

Como medida de las propiedades redox en la cerveza valen

- el valor rH (logaritmo negativo de la presión parcial de hidrógeno),
- el valor ITT (Indicator-Time-Test según Gray y Stone) o
- el contenido de oxígeno en la cerveza.

El valor rH y el valor ITT son fuertemente reducidos durante la fermentación:

	Valor rH	Valor ITT
mosto	20-30	250-500
cerveza verde	8-12	70-200

El contenido de oxígeno del mosto al inicio de la fermentación es consumido muy rápidamente por la levadura, alcanzando en el tanque de maduración valores de 0,00 a 0,01 mg de O_2/l de cerveza.

Pero veremos que tenemos grandes dificultades de mantener tan bajo el contenido de oxígeno en el tramo de envasado. Se pueden obtener cervezas con bajo valor rH en el proceso de fermentación y maduración por medio de

- procesos con sistemas de recipientes cerrados,
- fermentación eficaz e intensiva y
- todas las medidas que eviten un ingreso de oxígeno, en especial después del inicio de la fermentación del mosto.

4

4.1.4.4 Cambios en el color de la cerveza

En los primeros días de fermentación, el color de la cerveza se aclara en aproximadamente tres unidades EBC. Ello se debe a

- la decoloración de algunas substancias causada por la disminución del valor pH y
- la adsorción de substancias de colores intensos en células de levadura o la precipitación de aquellas en la capa de espuma y en los fondos de tanque.

4.1.4.5 Precipitación de compuestos amargos y taninos

Debido a la disminución del pH durante la fermentación, una serie de compuestos amargos y taninos disueltos de forma coloidal alcanzan el rango de su punto isoeléctrico y son precipitados como compuestos tensioactivos en las burbujas de CO_2 en la capa de espuma o por adsorción en las substancias albuminoideas y las células de levadura.

Los α-ácidos no isomerizados durante el proceso de cocción del mosto son precipitados, porque ya sólo son escasamente solubles con un valor pH menor que 5,0 y temperaturas menores que 10°C.

También una parte de las isohumulonas precipita en la tapa que cubre las superficies, porque son fuertemente tensioactivas y son captadas y arrastradas hacia arriba por las burbujas ascendentes de CO_2.

La espuma formada sobre la superficie, que contiene las substancias precipitadas, es denominada capa de espuma. En la operación de fermentación abierta estas capas de espuma son extraídas (como capa colapsada) al final de la fermentación principal. En el caso de la fermentación cerrada, la capa colapsada cae finalmente y una parte de los compuestos amargos precipitados entra nuevamente en solución.

Debido a la formación de la capa de espuma, se debe calcular un volumen de capa de espuma del 20% en el tanque cilindrocónico.

Del contenido de compuestos amargos del mosto frío al inicio de la fermentación (= 100 %) se pierde en la fermentación y maduración clásicas

- 25 a 30%, y un 70 a 80% de éste hasta el final de la fermentación principal
- hasta el 50% con operación de fermentación a muy alta temperatura.

4.1.4.6 Contenido de CO_2 de la cerveza

El contenido de CO_2 de la cerveza es uno de sus criterios de calidad más importantes.

Las cervezas chispeantes y con buena cantidad de espuma tienen un contenido de CO_2 de 0,45 a 0,50%.

Sólo aproximadamente el 15% del CO_2 formado permanece soluble en la cerveza. La mayor parte se desprende durante la fermentación y está disponible para la recuperación de CO_2.

La solubilidad del CO_2 en la cerveza depende de

- la temperatura; la solubilidad disminuye con temperatura creciente, y
- la presión sobre el líquido; la solubilidad aumenta proporcionalmente con la presión (ver Sección 4.3.5.1).

4.1.4.7 Clarificación y estabilización coloidal de la cerveza

La última fase del proceso de maduración sirve para la clarificación y mejoramiento de la filtrabilidad de la cerveza, así como para aumentar su estabilidad coloidal (ver al respecto Sección 4.6.2.2).

Una medida para el proceso de clarificación de la cerveza es la concentración de células de levadura en suspensión, la cual debe ser menor que $2 \cdot 10^6$ células/ml.

La clarificación de la cerveza es influenciada por

- una fermentación primaria intensiva y una caída, en lo posible grande, del valor pH resultante de ello,

- contenido de ß-glucano de la cerveza,
- cantidad y constitución de los precipitados en la cerveza,
- temperatura de la cerveza (refrigeración en tiempo),
- intensidad de la fermentación secundaria (movimiento de la cerveza),
- valor pH de la cerveza (un pH 4,2 a 4,4 favorece la clarificación),
- la forma de los recipientes de maduración y el nivel de líquido (cuanto menor es el nivel de líquido, tanto mejor es la clarificación),
- la duración de clarificación (1 a 2 semanas a temperaturas de 0 a -1°C),
- la viscosidad de la cerveza.

4.1.5 Efectos de diferentes factores sobre la levadura

Durante la propagación, fermentación y maduración, así como durante el almacenamiento de la levadura pueden presentarse factores, que tienen efectos desfavorables sobre la célula de levadura, que restringen la actividad metabólica o que conducen a la pérdida de la viabilidad. Todos estos representan factores de estrés y causan alteraciones [177]. Éstas incluyen:

▸ *Contenido aumentado de extracto*

Durante la fabricación de cerveza con elevado contenido de mosto original se producen frecuentemente perturbaciones de fermentación, dado que la concentración de azúcar es muy elevada y no hay disponibles aminoácidos en cantidad suficiente. La detención de la fermentación sólo puede ser entonces resuelta por una nueva dosis de levadura o por adición de Krausen.

▸ *Contenido aumentado de etanol*

El contenido de alcohol en las cervezas tipo Lager "normales" de 4,7 a 5,0 % en volumen es alcanzado por la levadura, sin inconvenientes. También las cervezas con un contenido de alcohol de 6 a 7 % en volumen son bien fermentadas por la mayoría de las levaduras; con un contenido más elevado de alcohol se presentan progresivamente dificultades.

El alcohol tiene tres efectos diferentes sobre el metabolismo de la levadura:

- estorba el crecimiento celular,
- disminuye el número de células vivas, e
- inhibe la fermentación.

Con el aumento del contenido de alcohol se comprueban importantes cambios en la concentración de ácidos grasos individuales en la membrana de fosfolípidos de la pared celular, los cuales también se hacen notar negativamente en la calidad.

Contenidos mayores de alcohol se observan raramente en la fabricación de cerveza. El mayor contenido alcohólico con 15 % en volumen fue alcanzado por la variedad francesa "Belzebuth", pero solamente utilizando una levadura especial y aplicando medidas extremas.

▸ *Oligoelementos*

En algunos mostos el contenido de cinc es demasiado bajo como para poder realizar una fermentación rápida. El límite inferior para una fermentación sin perturbaciones es un valor de 0,12 mg/l.

Dado que la mayor parte del cinc queda en las heces, deben encontrarse soluciones para elevar el contenido de cinc en el mosto a un nivel mínimo (ver al respecto Sección 3.2.1.7).

▸ *Suministro de oxígeno a la levadura*

Para propagarse sin inconvenientes, la levadura necesita oxígeno. Cuando se suministra oxígeno, se forman lípidos esenciales y también ácidos grasos no saturados, que son requeridos para la formación celular. Si la levadura no es aireada o no lo es de forma suficiente,

- la levadura se empobrece en esas substancias,
- la propagación se detiene prematuramente,

- se producen perturbaciones de fermentación y se prolonga la duración de fermentación y
- la porción de células muertas aumenta considerablemente.

El abastecimiento controlado de oxígeno a la levadura al inicio de la fermentación es por ello un factor de suma importancia. Como límite inferior se consideran 8 a 10 mg O_2/l. Se puede asumir que el oxígeno suministrado es consumido al cabo de pocas horas y que no tiene una influencia deteriorante alguna sobre la estabilidad de sabor de la cerveza.

▸ ***Bajas temperaturas***

Las temperaturas utilizadas en la fermentación baja se encuentran notablemente debajo del óptimo de temperatura de las enzimas de la levadura. Ya durante la propagación de levadura se utilizan temperaturas que se asemejan cada vez más a las futuras temperaturas de fermentación.

Si se introduce la levadura en mosto más frío o se la enfría fuertemente, se inicia inmediatamente en la levadura una excreción por choque térmico, en la cual se excretan aminoácidos y nucleótidos. La propagación se atenúa o se detiene completamente. También se retarda la fermentación o se detiene completamente.

La levadura es extremadamente sensible frente a cambios hacia temperaturas más bajas (choque térmico).

▸ ***Temperaturas elevadas***

Por medio de calentamiento breve de la levadura a temperaturas de 37 a 40°C, se logra un choque de calor. En esto ocurre una síntesis proteica intensificada de determinadas proteínas [177], la cual retorna al metabolismo normal al cabo de pocas horas.

Un tratamiento por choque de calor no está integrado en procesos usuales.

▸ ***Presión elevada***

En la fermentación bajo presión, se establece una presión de 0,2 a 1,8 bar (m) con ayuda de la válvula tapón. De este modo, aumenta la concentración del CO_2 en la cerveza. El parámetro de estrés que actúa sobre la levadura no es en esto la presión incrementada, sino la presión parcial incrementada del CO_2 en la cerveza.

Debido al contenido de CO_2 aumentado, se inhibe la reconstitución de substancias celulares propias de la levadura, en tanto que también se inhibe la degradación, pero no en igual medida que en la reconstitución. De este modo, se puede fermentar a una temperatura en comparación mayor, sin que se formen en mayor cantidad los componentes aromáticos típicos de una propagación intensiva de levadura, tales como ésteres y alcoholes superiores.

Esta lista muestra que existe toda una serie de factores de estrés para la levadura, por medio de los cuales puede ser perturbada sensiblemente una fermentación, que de lo contrario se desarrollaría de forma normal.

4.1.6 Floculación de la levadura (formación de flóculos)

Hacia el final de la fermentación principal, las células de levadura comienzan a aglomerarse, ellas floculan. Forman los flóculos de levadura, sedimentando de forma más intensiva en el fondo. Esta propiedad está diferentemente pronunciada en las razas de levadura. Como resultado hay

- levaduras no floculantes, que casi no forman flóculos, y
- levaduras floculantes, en las cuales la capacidad de formación de flóculos es pronunciada en mayor o menor grado.

La capacidad de formación de flóculos es una propiedad de raza, que no puede ser alterada, pero que a veces puede transformarse (sobre todo como fenómeno de degeneración) de levadura floculante a levadura no floculante.

Las causas para la capacidad de formación de flóculos no son exactamente conocidas.

Pero se sabe que la capacidad de formación de flóculos

- es una característica genética, en la cual actúan once genes, como mínimo [205] y
- que determinados factores en la cerveza (temperatura, cationes, valor pH, presión y otros) ejercen influencia.

Sin embargo, no hay conocimiento sobre cuáles factores son, ni cómo deben interactuar los mismos, para causar la formación de flóculos. Una influencia substancial tiene la pared celular de las células de levadura, la cual posee una estructura complicada (ver Sección 1.4.1) y que posibilita la floculación por su tendencia a realizar enlaces. Pero el cervecero no tiene influencia alguna sobre el desarrollo de la formación de flóculos. La única posibilidad está en elegir la raza correcta de levadura.

La formación de flóculos puede presentarse de forma relativamente abrupta o lenta. Afecta una serie de procesos, así por ejemplo:

- el grado de fermentación alcanzable,
- la realización de la cosecha de levadura,
- la clarificación de la cerveza y
- los intervalos de filtración.

4.2 Propagación de cultivo puro de la levadura

La cantidad necesaria para la realización de la fermentación puede ser obtenida por propagación de cultivo puro de la levadura.

El principio de propagación de cultivo puro de la levadura consiste en aislar células de levadura apropiadas y fuertes y propagarlas, bajo condiciones libres de contaminación, durante el tiempo necesario hasta que su cantidad sea suficiente para iniciar la fermentación en una cuba.

En la propagación de cultivo puro de la levadura se deben diferenciar tres etapas:

1. ***la obtención de las células de levadura apropiadas,***
2. ***la propagación en el laboratorio hasta una cantidad de 5 a 10 l de cerveza verde en estado de fermentación vigorosa (alta capa de espuma),***
3. ***la propagación en la planta hasta obtener la cantidad de inicio de fermentación.***

Pero primeramente se debe realizar una exposición sobre los fundamentos de la propagación de levadura.

4.2.1 Fundamentos de la propagación de levadura

El objetivo de la propagación de levadura es proveer en el menor tiempo posible, bajo condiciones estériles, levadura para inicio de fermentación con un metabolismo correcto, la cual conduzca a una fermentación normal y a una buena calidad de cerveza. El correcto tratamiento de la levadura y su propagación adquieren con esto una importancia decisiva.

Para la propagación de levadura son necesarios sobre todo tres factores: el abastecimiento con oxígeno, con aminoácidos y oligoelementos.

Abastecimiento con oxígeno

Un factor importante para la propagación de levadura es el abastecimiento con oxígeno. Debido a la respiración que comienza, la levadura es capaz de activar el metabolismo y de formar nueva substancia celular. Sin embargo, el contenido de azúcar del mosto inhibe la respiración y favorece el inicio de la fermentación (efecto Crabtree, ver Sección 4.2.1.1). Por ello, no se puede incrementar la propagación de levadura por medio de aireación cada vez más intensiva.

Con la formación de células comienza la formación y depósito de fosfolípidos, que son los componentes principales de la capa doble de la membrana celular. Por medio del oxígeno también una parte de los ácidos grasos es convertida en ácidos grasos no saturados, que se caracterizan por un menor punto de fusión y que posibilitan un mejor intercambio a través de la membrana.

El oxígeno también es requerido para la síntesis de esterinas. La síntesis de esterinas

está en esto muy ligada al crecimiento de levadura; por otro lado está ligada al enriquecimiento de glicógeno en la célula de levadura.

4

Existe una relación inversa entre la formación de lípidos y la de ésteres: mientras se forman lípidos (bajo suministro de oxígeno), está detenida la formación de ésteres.

Abastecimiento con aminoácidos y oligoelementos

Los aminoácidos y substancias minerales contenidos en el mosto alcanzan para realizar la fermentación. Pero si se propaga levadura, las células de levadura que se forman necesitan muchos más aminoácidos y substancias minerales, que sin embargo no están presentes, de manera que la propagación se detiene en un crecimiento celular de aproximadamente 100 millones de células de levadura/ml, aun con aireación extremadamente intensiva. Como elemento limitante están en primer lugar los 200 a 240 mg/l de aminoácidos contenidos en el mosto, de los cuales además (como la prolina) no todos pueden ser asimilados por la levadura.

Requerimientos al mosto y a la levadura de inicio de fermentación

Del mosto se requiere lo siguiente:

El mosto para inicio de fermentación debe

- ser normal a la reacción al yodo,
- corresponder al tipo de cerveza en color y aspecto,
- contener mínimamente 8 a 10 mg de O_2/l,
- tener un contenido de FAN de 200 a 230 mg/l,
- tener un contenido de cinc de mínimamente 0,15 mg/l,
- tener una viscosidad de 1,7 mPa · s (referido a un mosto al 10%), como máximo,
- tener un valor pH de 5,0 a 5,2 y
- no contener absolutamente ninguna contaminación.

La levadura de inicio de fermentación debe provenir de la propagación de cultivo puro de levadura, que alcance el perfil sensorial deseado en la cerveza. Aparte de ello, la levadura debe

- desarrollar una buena vitalidad,
- no debe contener levaduras extrañas o contaminantes,
- tener una porción de células muertas del 3%, como máximo, y
- tener una consistencia espesa.

4.2.2 Obtención de células de levadura apropiadas

Para la propagación de cultivo puro de levadura, se utilizan células de una levadura que haya demostrado un buen comportamiento en la práctica. La aislación de células de levadura ocurre en estado de fermentación vigorosa. De acuerdo con el método de Lindner, se aíslan bajo el microscopio *gotas con células individuales de levadura* (cultivo por gotas pequeñas de Lindner). Se obtienen muchos de esos cultivos individuales y se los deja desarrollar a una temperatura de 8 a 10°C. Es decir, a las mismas temperaturas, con las cuales la levadura también fermenta en la cava de fermentación. De esta manera, tiene lugar una selección y se puede seguir bajo el microscopio el crecimiento diferente de las células de levadura. La colonia de levadura más fuerte es aspirada por medio de una tira de papel filtrante estéril y adicionada a 5 ml de mosto estéril en un recipiente. Ahí propaga, continuándose ello en etapas hasta una relación de 1:10.

Si la levadura no debe ser utilizada inmediatamente, las células de levadura son depositadas sobre un medio de cultivo sólido, generalmente agar de mosto, en cultivo inclinado a temperaturas de 0 a 5°C y se las protege, bajo aceite de parafina, de la desecación. Las muestras son conservables así por 6 a 9 meses (banco de levaduras).

4.2.3 Propagación en el laboratorio

Para la propagación en el laboratorio se utiliza el recipiente que contiene los 5 ml de

mosto y en el cual se encuentra la colonia de levadura.

La propagación de levadura ocurre ahora por transferencia del contenido de recipientes en alta fermentación a un recipiente cuyo tamaño sea una a diez veces el tamaño del recipiente anterior. Por ejemplo

Recipiente nº	1	2	3
tamaño de recipiente	10 ml	100 ml	1000 ml
volumen de mosto estéril y	5 ml	50 ml	500 ml
cantidad inoculada	-	5 ml	55 ml
Contenido total	5 ml	55 ml	555 ml

A partir de 10 l, los recipientes están hechos de metal (acero al cromo-níquel) y se los denomina matraz de Carlsberg. Usualmente se tiene

- un matraz pequeño de Carlsberg de 8 a 10 l de capacidad y
- un matraz grande de Carlsberg de 20 a 25 l de capacidad.

El matraz de Carlsberg (Figura 4.7) está cerrado herméticamente por medio de un sello roscado (4, 5). La mayoría de los matraces posee una manija (6) para un mejor transporte, un filtro esterilizante de aire (1) y un grifo de muestras (2) o un tubo flexible para llenado/vaciado con inductor de flujo, que está conectado con un tubo vertical que llega hasta la base del matraz.

El matraz es esterilizado con el contenido, por medio de calentamiento y, luego del enfriamiento hasta la temperatura de inicio de fermentación, es inoculado con la levadura. Para ello, la mayoría de los matraces de Carlsberg posee una conexión de inoculación con membrana de goma (3), a través de la cual se puede realizar la inoculación de forma estéril, con una jeringa de inyección. Se utilizan para ello cantidades de 100 a 200 ml.

A través de una conexión estéril de aire en el grifo de muestras (2), pasando por el tubo vertical y desde abajo, se introduce aire en el mosto y se estimula con ello la propagación.

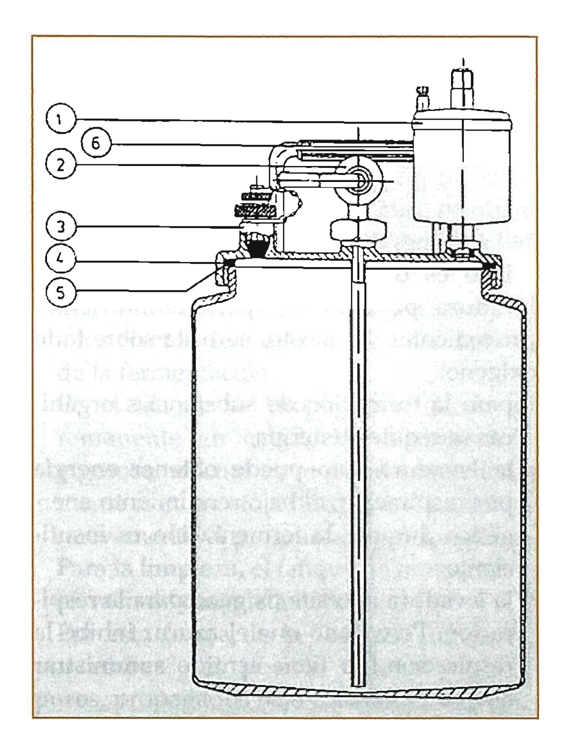


Figura 4.7
Matraz de Carlsberg
(1) filtro esterilizante de aire, (2) grifo de muestras, (3) conexión de inoculación con membrana de goma, (4+5) sello roscado, (6) manija

Cuando se ha alcanzado el número de células deseado, se le suministra aire comprimido al matraz, a través del filtro de aire (1), siendo vaciado el matraz por el tubo vertical y el grifo de muestras (2).En el laboratorio no pueden ser manejadas grandes cantidades de mosto, porque entonces se dificulta el transporte. Los procesos ulteriores tienen lugar en la instalación de propagación de levaduras en la cava.

4.2.4 Propagación de levaduras en la planta

La propagación ulterior de la levadura ocurre en la planta

- en instalaciones de propagación de levadura o
- en propagación abierta.

En la propagación de levaduras, cada célula de levadura debe multiplicar varias veces su propia masa. Al final, se han formado en cada mililitro de cultivo puro 100 a 140 millones de células de levadura.

Esto es un rendimiento increíble de la levadura, para el cual, aparte de nutrientes provenientes del mosto, necesita sobre todo oxígeno:

- para la formación de substancias orgánicas se requiere energía,
- la levadura sólo puede obtener energía por respiración; el bajo rendimiento energético durante la fermentación es insuficiente,
- la levadura necesita oxígeno para la respiración. Pero dado que el azúcar inhibe la respiración, no tiene sentido suministrar aire en exceso.
- el oxígeno debe estar bien distribuido para llegar a todas las células,
- se debe trabajar con abundancia de aire, pero cada burbuja de aire que asciende demasiado rápido sólo puede transmitir poco oxígeno por difusión y contribuye a una formación perturbadora de espuma.

4.2.4.1 Instalaciones de propagación de levadura

Las instalaciones de propagación de levadura consisten en recipientes cerrados de diferentes tamaños, de acero al cromoníquel, en los cuales se propaga la levadura hasta que su cantidad es suficiente para el inicio de la fermentación en una cuba o un tanque. Existen varios métodos para la propagación de levadura.

Una instalación de propagación de levadura está compuesta por un esterilizador de mosto, en el cual se esteriliza y se vuelve a enfriar el mosto a fermentar. La propagación de la levadura se realiza a través de varios tanques de propagación (propagadores) de diferente tamaño hasta aquel tamaño que posibilite el inicio de la fermentación en un tanque de fermentación cilindrocónico.

Para la propagación de levadura son importantes algunos puntos:

- Se debe trabajar bajo condiciones estériles hasta el tanque de propagación de levadura. Los organismos contaminantes no pueden ser extraídos posteriormente, dado que generalmente crecen bajo las mismas condiciones que la levadura.
- La aireación intensiva y estéril de la levadura es una condición básica para un rápido crecimiento de la misma y con ello para una levadura sana y de fermentación vigorosa.
- La levadura se propaga considerablemente más rápido a temperaturas de 20 a 25°C que a temperaturas menores. Pero es necesario llevarla, durante el desarrollo de la propagación, a las temperaturas correspondientes a las condiciones de operación, para alcanzar allí su total capacidad de fermentación.
- Para la propagación se utiliza mosto de paila llena, dado que los compuestos amargos de lúpulo contenidos allí ejercen un efecto inhibidor de gérmenes sobre las contaminaciones.

El desarrollo de la operación prevé los siguientes pasos:

- El esterilizador de mosto es llenado con este último y se lo calienta durante mínimamente 30 minutos a 100°C para eliminar todos los gérmenes. Posteriormente, el mosto es enfriado hasta aproximadamente 14 a 16°C.
- La levadura es adicionada al tanque de propagación para el inicio de la fermentación. Si se tienen tanques de propagación

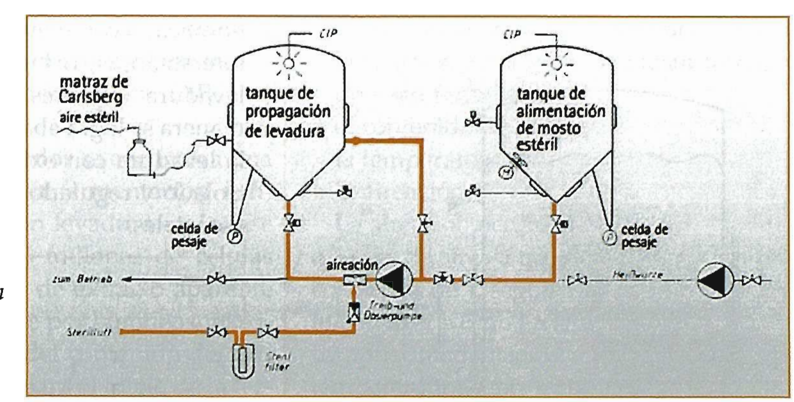


Figura 4.8: Instalación de propagación de levadura Conti-Prop (según empresa Esau & Hueber)

de tamaños diferentes, se inocula entonces el más pequeño con la levadura del matraz de Carlsberg, bajo condiciones estériles. Para ello, se flamean primero ambas aberturas en los grifos, para excluir todas las posibilidades de infección. Es importante que el mosto sea aireado intensivamente, para acelerar la propagación de la levadura. Se trasiega para esto el mosto desde el tanque de alimentación estéril al tanque de propagación de levadura y, luego de alcanzado el volumen de partida requerido, es recirculado por bombeo, desde y hacia el tanque de propagación de levadura, siendo simultáneamente aireado (figura 4.8). La medición del volumen de partida se realiza a través de una cápsula de medición de presión.

- Después de aproximadamente un día (24 a 36 h), el contenido se encuentra en fermentación vigorosa (fase logarítmica) y todo el contenido del recipiente es trasegado bajo condiciones estériles al recipiente próximo mayor y completado con mosto estéril y aireado. Este proceso prosigue hasta alcanzar la cantidad de levadura requerida.
- Cuando se ha alcanzado el volumen máximo en el recipiente de propagación, la cerveza verde, que se encuentra fermentando en el estado de fermentación vigorosa, es bombeada al tanque de fermentación. En esto, ocurre una nueva aireación intensiva a los efectos de asegurar un inicio óptimo de la fermentación.
- En el tanque de propagación queda un remanente en estado de fermentación vigorosa, el cual es mezclado inmediatamente con mosto estéril, para comenzar nuevamente el programa de propagación. Para la limpieza, el tanque de propagación es vaciado completamente.

Por esta forma de la "adición del mosto por etapas", es posible obtener cultivos puros, propagados bajo condiciones de operación, de forma permanente y en intervalos cortos, lográndose con ello una calidad constante de levadura (Figura 4.9) [63, 107].

La posibilidad de obtener para cada cocimiento levadura de operación en condiciones óptimas es altamente deseable para toda planta. Hemos visto que la levadura extraída en la fase logarítmica ofrece muchas ventajas en la fermentación [99]:

- rápida fermentación inicial,
- reducción del tiempo de fermentación,
- rápida disminución del valor pH (caída de pH),
- degradación rápida y amplia de diacetilo y
- un sabor de cerveza redondeado y puro.

La aireación no ocurre de forma óptima en la mayoría de las instalaciones de propagación y además está frecuentemente combinada con formación de espuma. Se puede

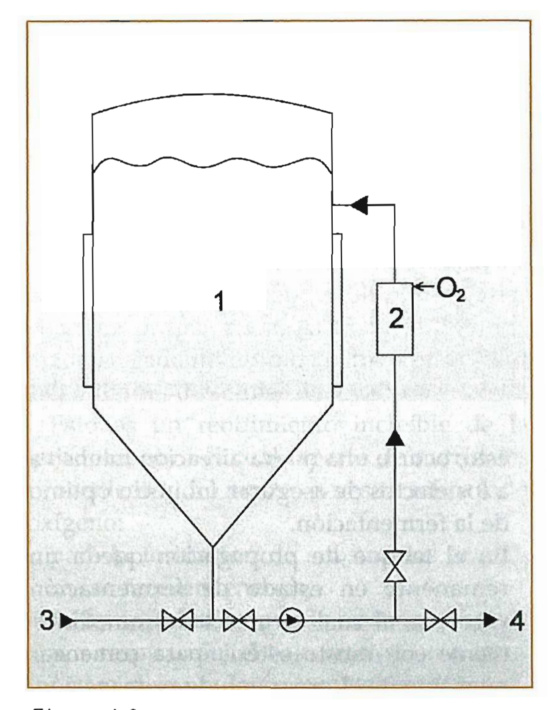


Figura 4.8a
Sistema de propagación de levadura (Empresa Meura, Tournai, Bélgica)
(1) propagador de levadura, (2) aparato de intercambio, (3) suministro de mosto, (4) al tanque de fermentación

continuar optimizando el proceso a través de un suministro intensivo de oxígeno. De acuerdo con un sistema de propagación de levadura de la empresa Meura (Figura 4.8a), la levadura es extraída del recipiente de propagación (1) por abajo y conducida a través de un aparato de intercambio (2). En este aparato se encuentra una serie de barras (1) de aproximadamente 90 cm de longitud y 2,5 cm de diámetro, en cada una de las cuales se encuentran ubicados 19 canales (2) de aproximadamente 2,5 mm de diámetro. Los canales están formados por una estructura cerámica de óxido de aluminio con poros de 0,05 µm. La levadura es bombeada a través de los canales, en tanto que el oxígeno es bombeado con mayor presión a través de los intersticios entre las barras, difundiendo a la levadura a través de los poros. De esta manera se logra abastecer de forma óptima a la levadura con oxígeno. El proceso es controlado y regulado en todos los parámetros esenciales.

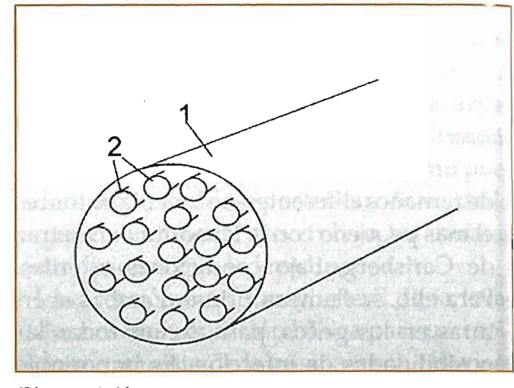


Figura 4.8b
Estructura del aparato de intercambio
(1) barra de intercambio, (2) canal de óxido de aluminio

Según la variante de inoculación, se diferencia entre dos posibilidades:

- luego de la extracción por bombeo, se deja una parte del cultivo puro en fase logarítmica como sedimento de levadura, para obtener nueva levadura con mosto nuevo. Se trabaja con un "depósito de levadura" (proceso de asimilación), o
- se propaga constantemente nueva levadura de un cultivo puro. El proceso trabaja con "vaciado total" (proceso monotanque).

4.2.4.2 Proceso de asimilación

En el proceso de asimilación según Back, el mosto es fermentado con levadura en un asimilador, manteniendo determinadas condiciones de crecimiento (temperatura, contenido de oxígeno, valor pH, contenido de extracto). El asimilador es un tanque vertical con fondo cilindrocónico o toroesférico, así

mo con los dispositivos reglamentarios y suales (seguros contra sobrepresión y acío, cabezales rociadores para CIP, etc.) igura 4.9).

Cuando en el asimilador se encuentra una intidad de cerveza en fermentación sufientemente grande con levadura en la fase garítmica (100 a 120 millones de células nl) con un contenido de extracto aparente s) de 6 a 7%, se extrae por bombeo aproximadamente 80 a 85% del contenido del asimilador y se lo utiliza para el inicio de la fermentación de un tanque.

Aproximadamente 15 a 20% del contenido queda como resto o sedimento en el asimilador, siendo completado con mosto a igual temperatura [203, 204]. La levadura, que continúa encontrándose en fase logarítmica, fermenta por su lado nuevamente el mosto del recipiente completado hasta un contenido de extracto aparente (Es) de 6 a 7%, repitiéndose a partir de ahora el proceso de forma continua (Figura 4.9a).

Como parámetros de control sirven en esto

- la relación de mezcla de mosto fermentado y sin fermentar,
- el contenido de extracto,
- la temperatura y
- la aireación.

La aireación ocurre cada 10 min, durante 1 a 2 min. Se airea a través de una simple pieza con forma de T, seguida de un tramo de disolución de 2 a 3 m. La temperatura se encuentra aproximadamente 4 a 5°C por encima de la temperatura de fermentación.

Se trabaja con reducido suministro de aire para mantener limitada la molesta formación de espuma.

Por asimilación se produce mucha levadura. Pero más levadura implica también más levadura residual y más cerveza de levadura, la cual debe ser recuperada. Pero esto causa mayores costos, que pueden ser reducidos, si no se reutiliza toda la levadura, sino únicamente una parte de la misma como levadura de asimilación (40/60 ó 50/50).

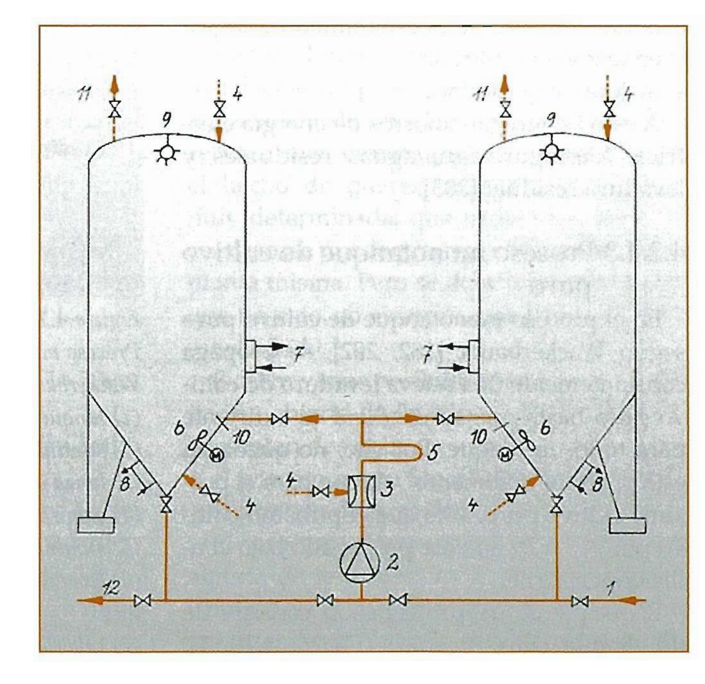


Figura 4.9
Propagación optimizada de levadura (según Back)
(I) asimilador 1
(II) asimilador 2
(1) entrada de mosto
(2) bomba controlada por frecuencia
(3) tobera tipo Venturi
(4) aire estéril
(5) tramo de disolución
(6) agitador de aireación
(7) refrigeración
(8) calentador
(9) equipo de CIP
(10) tramo de medición para O_2, pH y extracto
(11) CO_2
(12) levadura

4

4

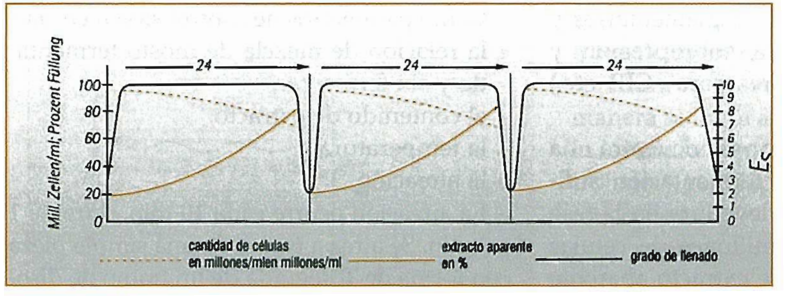


Figura 4.9a
Desarrollo, en principio, de la asimilación de levadura

Como ventajas del proceso se mencionan [99, 203]:

- tiempo breve de reacción y aseguramiento óptimo del suministro de levadura nueva,
- reducción notable de la porción de células muertas, por debajo de 3%,
- descenso de la concentración de levadura para inicio de fermentación a 10 a 15 millones de células de levadura/ml,
- descenso más rápido del valor pH en 0,1 unidades,
- acortamiento de la reducción de diacetilo,
- acortamiento del tiempo de fermentación y maduración en un día,
- notable mejora de la estabilidad biológica en la zona no filtrada,
- mejora de la calidad.

A esto se agregan ahorros de energía eléctrica, kieselgur, agua/aguas residuales y levadura residual [203].

4.2.4.3 Proceso monotanque de cultivo puro

En el proceso monotanque de cultivo puro según Wackerbauer [182, 202], se propaga constantemente una nueva levadura de cultivo puro hasta que su cantidad es suficiente para todo un tanque. Por ello, no queda en este proceso "sedimento" alguno para el próximo cultivo puro, sino que el próximo cultivo puro es nuevamente propagado bajo condiciones estériles.

El recipiente de propagación consiste de un tanque cilindrocónico (Figura 4.10, 1),

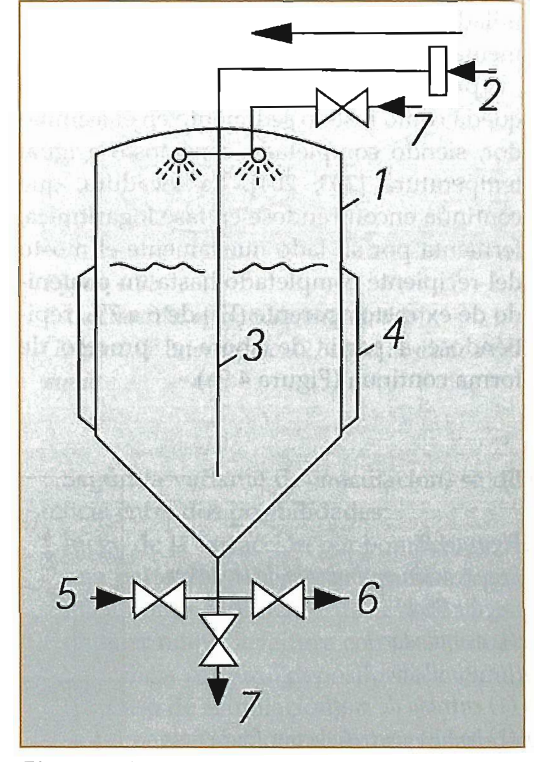


Figura 4.10
Proceso monotanque de cultivo puro según Wackerbauer
(1) tanque de propagación
(2) suministro de aire estéril
(3) lanza de aireación
(4) camisa de calentamiento y refrigeración
(5) suministro de mosto
(6) levadura de cultivo puro al tanque cilindrocónico
(7) tubería para CIP

ue está equipado con una camisa de calentamiento (4), la cual es a la vez camisa de refrigeración (agua helada o glicol). Aparte del aseguramiento usual contra sobrepresión y vacío, el tanque posee una esfera de limpieza para CIP y un suministro de aire estéril a través de una lanza de aireación (3).

Desarrollo del proceso

El tanque es llenado hasta la mitad con mosto. Este último es esterilizado durante 15 min y enfriado nuevamente a 20°C. Se realiza luego la adición del cultivo puro de levadura. A través de la lanza de aireación, se airea de forma estéril la levadura de la siguiente manera

- el primer día, cada 15 min durante un min,
- el segundo día, cada 5 min durante un min.

Este sistema de aireación asume que la levadura no necesita en el primer día tanto oxígeno como en el segundo, cuando ha iniciado la respiración y la fermentación.

Al mismo tiempo es necesario un mezclado eficaz del contenido del tanque, a los efectos de mantener la levadura permanentemente en suspensión y con ello en estado activo.

En este proceso se da particular importancia a la esterilización del mosto, así como también del aire para aireación, antes de la inoculación, a los efectos de excluir cualquier contaminación.

Para llegar a la cantidad de levadura necesaria, la relación de inoculación

del precultivo al matraz de Carlsberg es	1 : 200
del matraz de Carlsberg al propagador es	1 : 250 a 300
para inicio de fermentación con 500 hl de mosto es	1 : 20.

Se puede asumir que, después de 2,5 a 3 días, se dispondrá de un cultivo puro impecable para un cocimiento.

El tamaño del recipiente de propagación (hl) se calcula como sigue

$$\frac{\text{volumen de cocimiento (hl)} \cdot 2}{20}$$

La aireación continua con aire estéril conduce a una rápida propagación de levadura. Como ventajas del proceso se mencionan [182, 202]:

- debido a la aireación continua se puede propagar suficiente levadura pura y activa en muy corto tiempo,
- debido a las cortas distancias en el sistema, está considerablemente reducido el riesgo de una contaminación durante la producción de cultivo puro,
- dado que el recipiente de propagación es inoculado nuevamente luego de cada operación, queda excluida una degeneración de la levadura,
- el proceso es económico y atractivo por su simplicidad.

4.2.4.4 Propagación abierta de levadura

Las plantas muy pequeñas a menudo no tienen el dinero como para comprarse una instalación de propagación de levadura. La adquisición de levadura de una fábrica de cerveza más grande puede malograrse por el hecho de querer utilizar una levadura muy determinada, que nadie más tiene. En ese caso, se puede propagar la levadura en la planta misma. Pero se debe tomar en cuenta que en esto no siempre está garantizada la esterilidad.

Existen varias posibilidades para la propagación abierta de levadura, de las cuales se presentan dos aquí:

- el proceso según Stockhausen-Coblitz y
- el proceso de jarro de lechero.

El proceso clásico para la propagación abierta de levaduras es el de Stockhausen-Coblitz, en el cual se trabaja con 2 recipientes metálicos cubiertos con tapa suelta

(Figura 4.11). La forma de trabajo es en principio la misma que la aplicada en la propagación en laboratorio. Pero dado que las cantidades de mosto fermentadas son cada vez mayores, se debe seguidamente continuar fermentando en cubas más pequeñas:

	Denominación de los recipientes			
	Coblitz pequeño en l	Coblitz grande en l	cuba pequeña en l	cuba grande en hl
cantidad de mosto cocida	17	50	225	9
cantidad de cerveza verde inoculada	8	25	75	3
contenido total	25	75	300	12

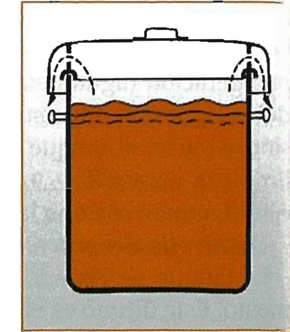


Figura 4.11
Recipiente de propagación de levadura según Stockhausen-Coblitz

En este método la propagación de levadura ocurre en jarros de transporte de leche, fáciles de limpiar. Con 5 jarros, de los cuales uno queda siempre como jarro fuente para una nueva propagación, se puede propagar de forma sencilla siempre suficiente levadura para el inicio de fermentación.

Por este camino se pueden fermentar hasta 50 hl de mosto con reducido esfuerzo de trabajo y gasto en equipos.

Visto estrictamente, la propagación abierta de levadura es sólo una fermentación anticipada en cuba, dado que, a más tardar después del recipiente Coblitz grande, se trabaja con mosto de operación. Es decir, que entonces ya no se trabaja con mosto estéril.

Otro método de propagación abierta de levadura es el proceso de jarro de lechero (Figura 4.12).

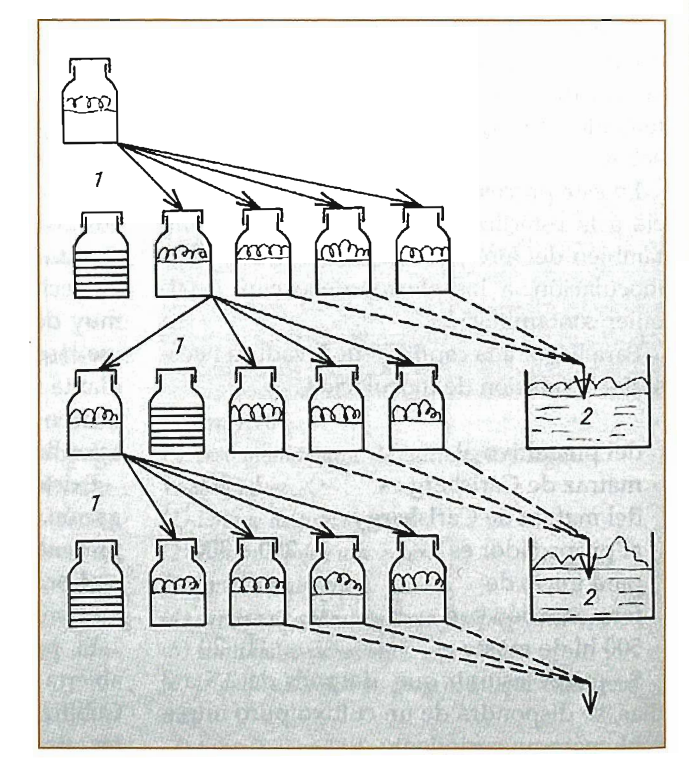


Figura 4.12
Propagación de levadura según Carrière
(1) jarro de lechero de 40 l con 25 l de cerveza verde para inoculación,
(2) cuba de propagación

Modo de trabajo

Se limpia minuciosamente un jarro, se lo calienta con vapor o agua caliente y se lo llena con 20 l de mosto al bombear caliente y libre de lúpulo.

El jarro es cerrado y enfriado a 10 a 11°C en la cava de fermentación. Este proceso dura aproximadamente un día.

A los 20 l de mosto se les adiciona el contenido del matraz de Carlsberg de 8 l, el cual se encuentra en estado de fermentación vigorosa. Dentro de un tiempo breve, la fermentación prosigue en el jarro, lo cual se muestra a través de una buena formación de espuma alta.

El contenido de un jarro es ahora distribuido en cuatro jarros, cada uno de los cuales fue llenados de la forma recién descripta con 20 l de mosto enfriado. Luego de otros 2 a 4 días, el contenido de estos jarros se encuentra a su vez en el estado de fermentación vigorosa.

El contenido de tres jarros (aproximadamente 0,8 hl) es volcado en la cuba de propagación, que ha sido limpiada y desinfectada de forma absolutamente minuciosa. El contenido del cuarto jarro queda como material fuente para la próxima propagación.

Este proceso puede ser repetido sucesivamente durante algún tiempo.

Debe tenerse en cuenta en todos los procesos de propagación:

- En la propagación en planta, la relación elegida entre cantidad inoculada de cerveza verde y mosto al inicio de fermentación no debe ser mayor que 1:3 ó 1:4.
- La temperatura en la "adición del mosto por etapas" debe corresponderse con la temperatura de la levadura, porque ésta entra en estado de "*shock*", en el caso de enfriamientos bruscos, y no continúa fermentando.
- La temperatura durante la propagación debe corresponderse con la temperatura de fermentación, a los efectos de acostumbrar a la levadura a las condiciones de operación, por anticipado.

Para la realización de la fermentación y la maduración, resultan dos puntos de vista:

- muchas plantas realizan la fermentación en cubas de fermentación abiertas y la maduración en tanques de reposo. Esta forma se denomina "fermentación y maduración clásicas",
- en plantas nuevas, la fermentación y la maduración son realizadas en tanques cilindrocónicos.

Hay grandes diferencias en el equipamiento y los métodos utilizados en estos dos procesos.

4.3 Fermentación y maduración clásicas

Algunas fábricas de cerveza están equipadas con cubas de fermentación abiertas y tanques de reposo, y realizan la fermentación y la maduración en forma tradicional, es decir, clásica o convencionalmente. Para ello, consideramos:

- el equipamiento de la cava de fermentación y de la bodega de maduración y
- la realización de la fermentación y la maduración.

4.3.1 Cubas de fermentación – Equipamiento de la cava de fermentación abierta

La fermentación ocurre en cubas de fermentación, que se encuentran dispuestas en la cava de fermentación.

4.3.1.1 Cubas de fermentación

Las cubas de fermentación se diferencian en el material utilizado para su construcción y en su aprovechamiento del espacio. Las cubas de fermentación son refrigeradas a los efectos de evacuar el calor generado durante la fermentación.

▸ *Materiales y revestimientos de las cubas*

Se utilizan cubas de madera, acero inoxidable, aluminio y hormigón con diferentes

materiales de revestimiento o recubrimientos (brea, resina sintética, esmalte).

- *Refrigeración de la cuba*

Se debe calcular que se generan

587 kJ/kg de extracto durante la fermentación bajo condiciones de producción.

Este extracto es fermentado en la fermentación principal en aproximadamente 2/3. En un hl de mosto, al inicio de la fermentación, están contenidos por ejemplo 12 kg de extracto. De éstos, se fermentan 2/3 durante la fermentación principal, es decir, 8 kg. De acuerdo con esto, se generan durante la fermentación principal:

587 · 8 = 4696 kJ por cada 1 hl de mosto,

los cuales, a su vez, deben ser también evacuados por la refrigeración. La evacuación del calor se realiza usualmente a través de una refrigeración por camisa, raramente por serpentinas refrigerantes, a través de las cuales circula agua dulce enfriada (agua helada) a 0 a 1°C. El suministro de agua de refrigeración debe ser regulable para que se pueda ajustar la temperatura deseada.

Debe tenerse en claro que justo en la fermentación abierta es importante que todas las contaminaciones sean mantenidas alejadas de la cerveza para garantizar una conservación prolongada.

4.3.1.2 Equipamiento de la cava de fermentación abierta

Las cubas de fermentación están ubicadas en la cava de fermentación de manera tal de posibilitar un modo de trabajo productivo. La cava de fermentación es refrigerada y está equipada con un dispositivo de aspiración del dióxido de carbono formado.

Disposición de los tanques de fermentación

La cava de fermentación se encuentra debajo de la sala de enfriamiento de modo que el mosto pueda ingresar por gravedad. La cava clásica de fermentación está frecuentemente compuesta por tres secciones:

1. *la cava de inicio de fermentación*: es una sección más pequeña, ubicada algo más elevada con sólo unas pocas cubas, sin refrigeración de cuba;
2. *la cava de fermentación*, en la cual se encuentran ubicadas las cubas de fermentación con refrigeración interna;
3. *la bodega de levadura*, en la que se almacena la levadura.

La cava de fermentación está compuesta por dos pisos. Las cubas de fermentación son instaladas de manera tal que puedan ser operadas sin problemas tanto desde arriba como desde abajo. Para un modo de trabajo rentable, es necesario que las cubas estén situadas lo suficientemente elevadas como para que se pueda trabajar sin grandes impedimentos en el pasillo de operación inferior. Una excepción son las cavas de madera, las que están compuestas por sólo un piso. A las cubas de madera se accede mediante escalas.

La fábrica de cerveza antigua y clásica estaba dispuesta de tal manera que el mosto y la cerveza podían fluir por gravedad: bien arriba estaba ubicada la bandeja de enfriamiento y debajo el refrigerador por riego –ambos ya no existen–; les sucedían luego la cava de inicio de fermentación y la cava de fermentación; se encontraban luego bien abajo, siempre, las bodegas de maduración, que a menudo estaban alojadas dentro una bodega protectora construida en la tierra o en la roca. Todo esto tenía mucho sentido, porque de esta manera no se necesitaba una bomba, y con ello tampoco energía, para el transporte de una sección a la siguiente. Pero todo ello también tenía otro aspecto: Durante siglos, ya antes de la invención de la bomba, la cerveza se fabricó según métodos más sencillos pero similares, ya que también debía

er transportada de una sección a otra. Ahí, sta disposición tenía sentido, dado que lo ue no escurría libremente debía ser vaciado on trabajo muscular o ser transportado con rimitivas bombas manuales. El símbolo a la erecha, la cuba o el tonel de vaciado, en uestra insignia cervecera recuerda esa época Figura 4.15).



Figura 4.15
Tonel de vaciado en la insignia cervecera

Instalación de la cava de fermentación (Figura 4.16)

En la cava de fermentación, la cerveza entra en contacto con el aire, y de esta manera puede ser contaminada con microorganismos deteriorantes para la cerveza.

Como microorganismos o contaminaciones deteriorantes para la cerveza están comprendidos en la fabricación de la cerveza todos los microorganismos, salvo la levadura de cerveza. Éstos pueden enturbiar la cerveza y deteriorarla en su calidad, o inclusive hacerla imbebible, por propagación y excreción de los productos metabólicos en la misma. Durante la limpieza de las cubas en la cava de fermentación se producen grandes cantidades de agua, que deben ser rápidamente evacuadas a través de una instalación de drenaje correspondientemente grande.

La cava de fermentación está aislada por una gruesa mampostería a los efectos de mantener la influencia de la temperatura exterior tan baja como sea posible.

Refrigeración ambiental: El calor de fermentación producido durante la fermentación principal no es totalmente evacuado a través de la refrigeración de la cuba, de manera que la cava de fermentación requiere una refrigeración ambiental, que mantenga la temperatura del ambiente en 5,5 a 6°C. La demanda diaria de frío es aproximadamente 4 MJ por cada 1 m² de superficie de piso.

Esto es necesario en especial para el aire ambiental, que debe ser cambiado varias veces por día para evacuar el CO_2.

La refrigeración de la cava de fermentación ocurre indirectamente a través de la refrigeración de aire por circulación. En este proceso, los tubos de refrigeración se encuentran en un ambiente vecino. El aire es empujado por un ventilador a través del ambiente de refrigeración, y así es enfriado. Debido al enfriamiento, el agua contenida en el aire se separa como hielo sobre los tubos refrigerantes, y el aire es secado de esta manera. El aire frío y seco es forzado con baja velocidad en la cava de fermentación y es aspirado en el lado contrario de la misma.

Ventilación

Durante la fermentación alcohólica se forma dióxido de carbono. Dado que es más pesado que el aire, se acumula en la parte inferior de tanques y ambientes.

¡El dióxido de carbono es un veneno para la respiración!

Dado que ya un contenido de dióxido de carbono de 4% en el aire puede tener un efecto mortal, es necesario extraer el dióxido de carbono formado (ver Sección 4.10.1).

Una reducida parte de la cantidad de dióxido de carbono formada permanece disuelta en la cerveza verde, mientras el resto escapa.

La densidad del dióxido de carbono es

1,96 kg/m³, es decir:
1 m³ de dióxido de carbono pesa 2 kg.

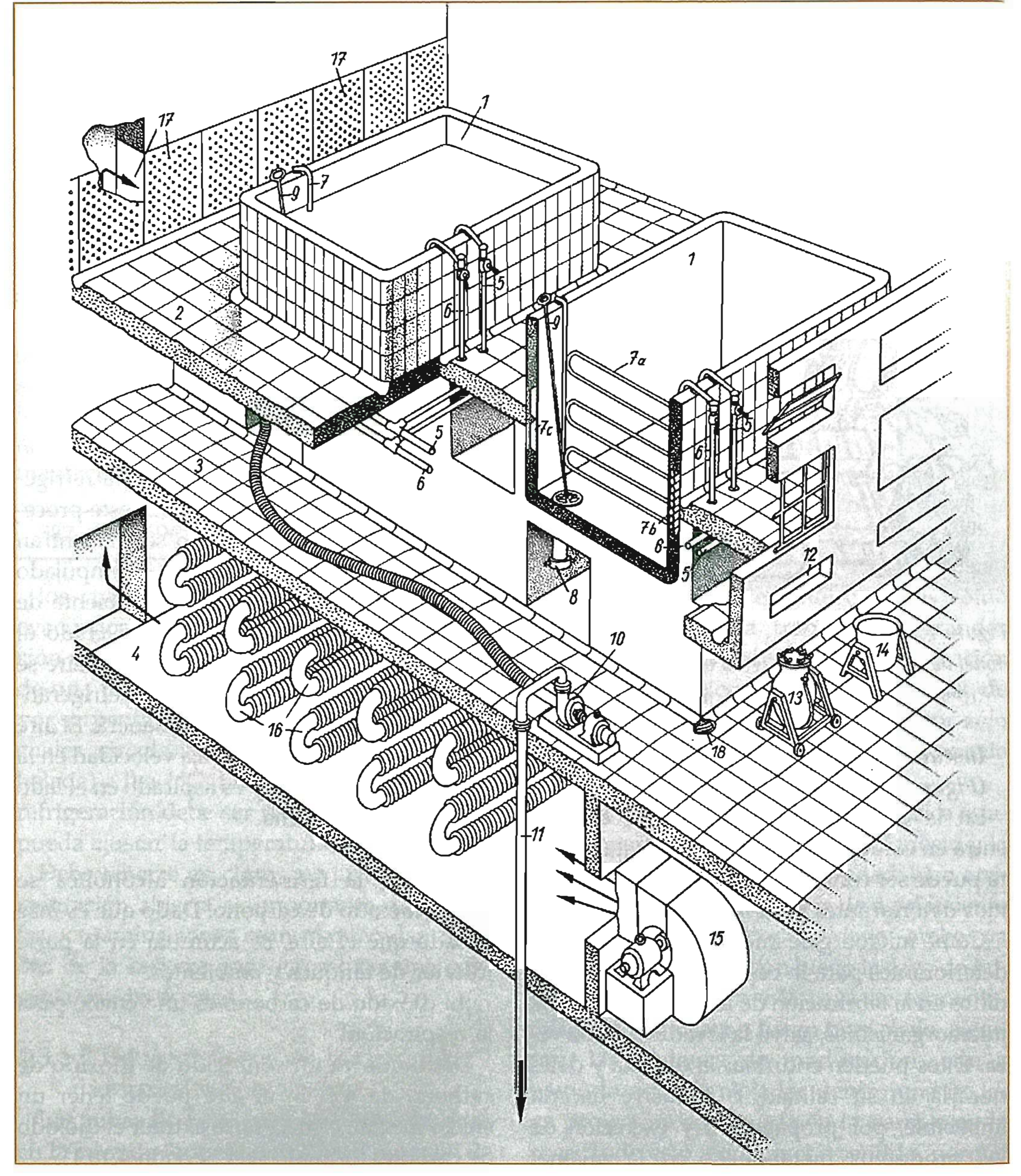


Figura 4.16: Instalación de la cava de fermentación (instalación clásica)

(1)cuba de fermentación, (2) piso superior de la cava de fermentación, (3) piso inferior de la cava de fermentación, (4) ambiente de refrigeración, (5) entrada de agua de refrigeración, (6) salida de agua de refrigeración, (7) soporte de serpentín de refrigeración, (7a) serpentines de refrigeración, (7b) camisa de refrigeración Dr. Schmid, (7c) refrigeración de bolsillo, (8) conexión de salida, (9) vástago de válvula, (10) bomba de trasiego, (11) tubería de trasiego, (12) evacuación de CO_2, (13) matraz de levadura, (14) tina de levadura, (15) ventilador, (16) tubos de refrigeración para refrigeración de aire por circulación, (17) introducción del aire enfriado en la cava de fermentación, (18) sumidero.

4.3.2 Rendimiento de la cava de fermentación

Tan pronto como el cocimiento llega a la cava de fermentación, se determinan su cantidad y su contenido de extracto. Con ello se tienen también los valores para la determinación del rendimiento de la cava de fermentación. Dado que existen relaciones estrechas entre el rendimiento de la sala de cocción y el de la cava de fermentación, el rendimiento de esta última es de particular interés.

El rendimiento de la cava de fermentación indica qué porcentaje de la cantidad de carga ha llegado como extracto de mosto a la cava de fermentación y es utilizado en el inicio de la fermentación.

El rendimiento de la cava de fermentación se calcula en principio de igual manera que el rendimiento de la sala de cocción. Sin embargo, se prescinde de la multiplicación por el factor 0,96, porque el volumen del mosto al inicio de la fermentación es determinado en estado frío y, debido a ello, ya no disminuye.

Con el siguiente ejemplo queremos mostrar, cuán grande es esta contracción sin que nada se evapore o desaparezca de otra manera:

▸ Ejemplo:

Se bombea un cocimiento de 543 hl. ¿Cuántos hl será esto luego de la contracción?

$$543 \cdot 0{,}96 = 521 \text{ hl},$$

Es decir que 22 hl han desaparecido sencillamente debido a la contracción. Sin embargo, esta pérdida no es tenida en cuenta en el cálculo del rendimiento de la cava de fermentación.

Fórmula para el cálculo del rendimiento de la cava de fermentación R_{cf}:

$$R_{cf} = \frac{\text{cantidad en inicio de fermentación (hl)} \cdot \text{masa \%} \cdot \text{densidad 20/4}}{\text{carga (dt)}}$$

Entre el bombeo de mosto caliente y el inicio de la fermentación se pierde una pequeña cantidad de extracto:

- por humedecimiento de tanques y tuberías,
- debido a las heces de lúpulo y al trub.

Por ello, el rendimiento de la cava de fermentación es siempre un poco menor que el de la sala de cocción.

Muchas fábricas de cerveza no adicionan lúpulo natural, sino que retornan el mosto turbio al próximo cocimiento. Dado que se puede asumir que el mosto turbio está compuesto en un 75% por mosto, que se recupera en el próximo cocimiento, y sólo en un 25% por trub, se debe descontar este 75% de la próxima cantidad de mosto (pero adicionar la misma cantidad del cocimiento precedente). La diferencia permanece aproximadamente igual.

El rendimiento de la cava de fermentación por sí sólo no provee información útil alguna. Interesante es la diferencia entre el rendimiento de la sala de cocción y el de la cava de fermentación.

Esta diferencia se origina:

- por el equipamiento y el proceso durante el enfriamiento; este factor permanece siempre constante, y
- el modo de trabajo entre bombeo de mosto caliente e inicio de fermentación.

En el caso de variación de la diferencia usual entre rendimiento de sala de cocción y rendimiento de cava de fermentación, algo ha cambiado en el modo de trabajo.

Ejemplo de cálculo:

En una carga de 4960 kg de malta Pilsener se han bombeado

331 hl con 11,4% ≙ 11,90 g/100 ml.

y han iniciado la fermentación

321 hl con 11,2% = 11,68 g/100 ml.

¿Cuánto es la diferencia entre el rendimiento de la sala de cocción (R_{sc}) y el rendimiento de la cava de fermentación (R_{cf})?

$$R_{sc} = \frac{11{,}90 \cdot 0{,}96 \cdot 331 \text{ hl}}{49{,}6 \text{ dt}} = 76{,}24\%$$

$$R_{cf} = \frac{11{,}68 \cdot 321 \text{ hl}}{49{,}6 \text{ dt}} = 75{,}59\%$$

La diferencia entre R_{sc} y R_{cf} es 0,65%.

Naturalmente que esto puede ser expresado en forma abreviada, tomando la diferencia en la cantidad de extracto presente:

$E_{sc} = 11{,}90 \cdot 0{,}96 \cdot 331$
= 3781,3 kg de extracto
en el bombeo del mosto caliente

$E_{cf} = 11{,}68 \cdot 321$
= 3749,3 kg de extracto al inicio de la fermentación

pérdida de extracto = 32,0 kg

4.3.3 Realización de la fermentación principal abierta

La fermentación principal es comenzada con el inicio de fermentación del mosto. La forma de operación de fermentación decide sobre la temperatura y la duración de fermentación durante la fermentación principal. La determinación del grado de fermentación se realiza antes del trasiego de la cerveza a la bodega de maduración.

4.3.3.1 Inicio de la fermentación

Por inicio de la fermentación se entiende la adición de levadura al mosto para comenzar con ello la fermentación.

El mosto inmediatamente antes de la adición de levadura se llama mosto al inicio de la fermentación.

Los datos del mosto original se indican en %Plato –antaño y aun en otros países °Plato–.

El mosto al inicio de la fermentación, inmediatamente después de la adición de levadura, se denomina ya cerveza, o mejor aún "cerveza verde".

Hay que encargarse, en el inicio de la fermentación, de que la levadura encuentre suficiente oxígeno en el mosto a fin de comenzar rápidamente la propagación y la fermentación, y para distribuir la levadura en el mosto. Este proceso se denomina aireación.

4.3.3.1.1 Aireación

La aireación no ocurre únicamente debido al ingreso de oxígeno, sino también y muy especialmente debido a la distribución homogénea de la levadura en el mosto: en lo posible, no debe haber grumos de levadura. Las células de levadura individuales deben entrar rápidamente en contacto con los nutrientes del mosto. ¡Esto es importante para la intensidad de la fermentación primaria! Es por ello que en las plantas modernas se adiciona la levadura uniformemente en la corriente de mosto.

En fábricas más pequeñas de cerveza, la aireación aún ocurre:

- vertiendo de un tanque a otro,
- utilizando un dispositivo de aireación de levadura o
- utilizando un matraz de levadura.

Las plantas modernas usan aparatos especiales para la distribución fina del aire, sobre los cuales ya hemos tratado en la sección 3.9.3.

Una aireación pobre del mosto puede tener consecuencias muy desagradables:

- fermentación primaria defectuosa,
- tiempos de fermentación más prolongados (hasta tres o más días),
- fermentación sensible al enfriamiento,
- degradación de extracto atascada,
- fermentación secundaria defectuosa,
- problemas con la calidad de la cerveza.

No debe preocupar la aireación intensiva del mosto: el oxígeno adicionado aquí es ávidamente absorbido por la levadura, porque es requerido de forma prioritaria para la propagación. Debido a ello, desaparece del mosto en el término de pocas horas y no

ejerce una influencia adversa. Es deteriorante más bien una aireación inadecuada de levadura, debido a los motivos mencionados anteriormente.

4.3.3.1.2 Adición de levadura

La levadura es ahora adicionada al mosto de forma uniforme. Al mismo tiempo, el mosto debe estar aireado intensivamente para que la fermentación pueda comenzar rápida e intensivamente.

La adición de levadura es de 20 a 30 millones de células de levadura/ml de mosto
= 0,6 a 1 l de levadura espesa/hl de mosto.

Se puede asumir que

una levadura espesa contiene aproximadamente $3 \cdot 10^9$ células/ml

1/2 l de levadura/hl de mosto aproximadamente $15 \cdot 10^6$ células/ml

1 l de levadura/hl de mosto aproximadamente $30 \cdot 10^6$ células/ml.

La dosificación de levadura ocurre desde un recipiente de almacenamiento de levadura a través de una bomba o válvula. El control de la cantidad de levadura a dosificar puede ser realizado por medio de un sistema de medición de turbidez.

Por supuesto que no existe nadie que realmente cuente las células de levadura, sino que en esto se parte de extrapolaciones y se regula la cantidad de células dosificada a través de la medición de la turbidez de la suspensión de producto/levadura.

Existen innumerables medios auxiliares para el control de la adición de levadura. Una gran importancia ha alcanzado en esto la determinación indirecta del número de células por medio de la medición de turbidez. Esta medición puede ser realizada online y posibilita de esta manera una automatización de la adición de levadura para inicio de fermentación. La disposición más frecuente de medición consiste en una medición de turbidez diferencial. Aquí, la turbidez del mosto es medida antes y después de la dosificación de la levadura, determinándose así el número de células de levadura a partir de la diferencia.

Otra posibilidad es la medición de la carga de levadura [135]. Se entiende por esto la vinculación entre sólidos y caudal en una magnitud de medición (masa por unidad de volumen en g/l). Aquí, se vinculan entre sí las señales mediante un control de procesos; se puede expresar de esta manera el contenido de sólidos de un volumen en kg de substancia seca. Con ello, la adición de levadura pasa a ser independiente de la consistencia de la suspensión de levadura.

El aumento de la adición de levadura es la posibilidad más importante de acelerar la fermentación sin que se produzcan consecuencias desventajosas [39].

Una fermentación primaria intensiva tiene un efecto favorable sobre la filtrabilidad de la cerveza y sobre la retención de espuma.

Una instalación de dosificación de levadura y de aireación de mosto con adición de levadura está representada en la Figura 4.17: el mosto es conducido desde el Whirlpool (1), a través de un enfriador de placas (4), a un tanque de flotación (3). Entremedio se dosifica levadura desde un tanque de levadura (2) por medio de una bomba dosificadora. En la segunda sección, el mosto es aireado intensivamente de la manera descripta. En lugar del tanque de flotación mencionado aquí, puede encontrarse también un tanque de fermentación.

El inicio de fermentación ocurre generalmente en la cuba de fermentación. El mosto trae todavía del enfriamiento una cantidad de substancias insolubles, las cuales se depositan en el fondo de la cuba en el término de un día:

- partículas de trub, que no fueron retenidas durante la separación de trub, y
- resinas de lúpulo, que han precipitado nuevamente en el enfriamiento.

Además, sedimentan muy pronto en el

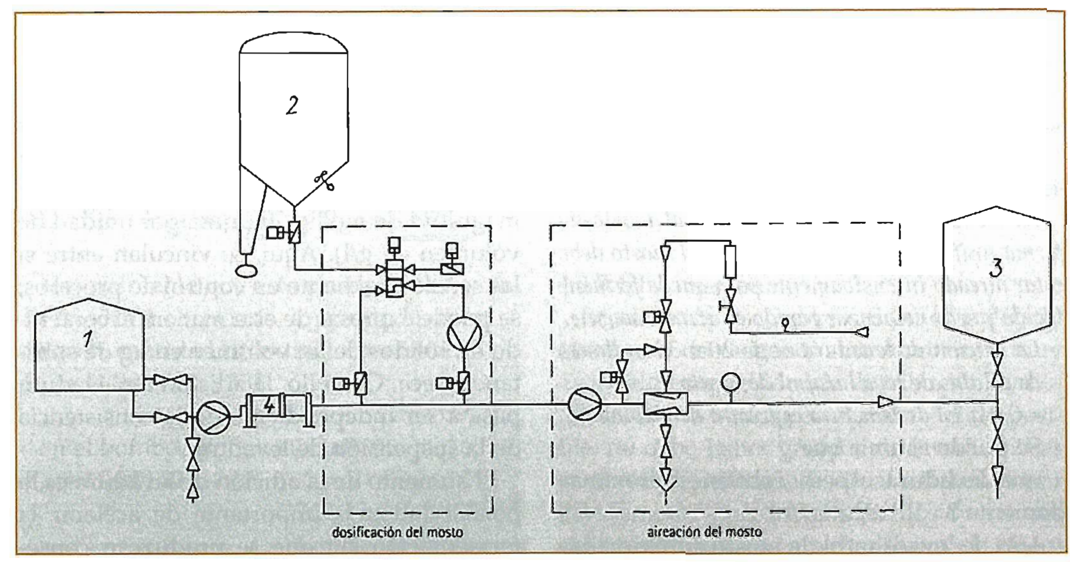


Figura 4.17: Dosificación continua con aireación del mosto tipo Turbo-Air (Empresa Esau & Hueber GmbH, Schrobenhausen, Alemania)
(1) Whirlpool, (2) tanque de levadura, (3) tanque de flotación, (4) enfriador de placas

fondo células muertas o débiles para la fermentación. Por este motivo, se emplean a veces cubas de inicio de fermentación.

En la utilización de cubas de inicio de fermentación, se inicia allí la fermentación del mosto y, luego de 12 a 24 h, éste es evacuado a la cava de fermentación. La levadura de cosecha obtenida en la cuba de inicio de fermentación es más limpia y más clara que con el inicio directo de fermentación en la cuba de fermentación.

La temperatura clásica de inicio de fermentación es 6 a 7°C. Pero también son posibles y usuales otras temperaturas.

Un modo particular de inicio de fermentación es la "adición de mosto por etapas".

4.3.3.1.3 Adición de mosto por etapas

Por adición de mosto por etapas se entiende la adición de mosto por bombeo en una cuba que ya se encuentra en fermentación. Debido al suministro del mosto fresco, la levadura es reactivada en forma inmediata y la fermentación y la propagación comienzan inmediatamente. Por medio de la adición de mosto por etapas, se ahorra el tiempo de fermentación primaria.

Sin embargo, es muy importante que el mosto suministrado tenga la misma temperatura que el que se encuentra en fermentación. Si la levadura es enfriada bruscamente, la fermentación puede retardarse o cesar completamente.

De esta manera, también se puede iniciar la fermentación permanentemente, de acuerdo con el ritmo de la secuencia de cocimiento, para así prescindir del efecto retardador de las fases de inducción y aceleración (ver Sección 1.4.3). Se extrae para ello, por bombeo y desde abajo, cerveza verde de una cuba grande, que se encuentra en estado de fermentación vigorosa (alta capa de espuma). Esta cerveza verde continúa fermentando en cubas más pequeñas, como es usual, en tanto que al mismo tiempo se vierte desde arriba mosto enfriado de igual temperatura (8,5°C) en la cuba en fer-

mentación vigorosa de manera tal que la cantidad de mosto se mantiene constante allí. El mosto al inicio de fermentación se mezcla en la cuba de fermentación vigorosa con la cerveza verde en fermentación; la levadura se propaga constantemente y permanece en la fase de propagación de levadura de forma permanente.

Si se regula la cantidad suministrada de forma tal que la diferencia entre el extracto al inicio de fermentación y el extracto de cerveza verde extraído por bombeo es constantemente 1,5 a 2,5%, se puede continuar el inicio de fermentación teóricamente hasta que no haya más mosto. Al mismo tiempo sólo hay casi exclusivamente células jóvenes de levadura, que son de fermentación muy activa y que no están ensuciadas. Para la realización de este proceso es esencial la aireación intensiva del mosto frío para lograr una suficiente propagación de levadura. En el caso de aireación insuficiente, no se logra el acortamiento del tiempo de fermentación.

Al final de cada semana, las cubas de fermentación vigorosa son vaciadas por bombeo. Se las limpia y se llenan con los primeros cocimientos de la semana siguiente, iniciándose así la fermentación.

4.3.3.2 Operaciones de fermentación en la cuba de fermentación

Tan pronto como ha sido adicionada la levadura, el mosto es denominado cerveza verde (o cerveza joven). Durante la fermentación principal, la cerveza verde pasa por diferentes estados de fermentación, que se pueden reconocer por su aspecto. La temperatura de fermentación y la duración de esta última son muy importantes para la operación de fermentación.

4.3.3.2.1 Estados de fermentación

Durante la fermentación principal, la cerveza verde pasa por los siguientes estados normales de fermentación:

Estado de fermentación	Aspecto de la capa inicial
	La cuba se cubre de una capa blanca de espuma formada por pequeñas burbujas (se "blanquea", es decir, se pone más y más blanca). Ha comenzado la fermentación.
Fermentación vigorosa joven o al inicio de la fermentación principal	La espuma de burbujas pequeñas aumenta en altura y adquiere cubiertas marrones. El aspecto de la capa debe ser lo más homogéneo posible y cremoso.
Fermentación vigorosa	La fermentación ha entrado en su estado más intensivo; las crestas de espuma están más altas y con burbujas de tamaño más grande.
Espuma en colapso	La intensidad de la fermentación ha disminuido, colapsando lentamente la alta espuma, porque no puede continuar formándose tanto dióxido de carbono. El aspecto de la espuma es más marrón.
Capa colapsada	Debido a la disminución continua de la fermentación, la alta espuma continúa colapsando y forma al

		final solamente una capa (capa colapsada) suelta, de color marrón sucio, que es extraída antes del trasiego para que no descienda y contamine la levadura.

Aparte de estos estados normales de fermentación, la fermentación se presenta a veces también de forma anormal:

Fermentación anormal	Aspecto	Consecuencia
Fermentación en ebullición	En un lugar de la cuba, la cerveza verde comienza a formar burbujas dando una impresión tal como si el contenido de la cuba comenzara a hervir.	La cerveza no es cualitativamente peor. La capa debe ser removida a tiempo.
Fermentación de burbujas grandes	Hacia el final de la fermentación, aparecen sobre la capa de fermentación burbujas del tamaño de una cabeza.	La cerveza no es cualitativamente peor.

4.3.3.2.2 Temperatura de fermentación

Para el control de la temperatura, son importantes, durante la fermentación baja principal, la temperatura de inicio de fermentación y la temperatura máxima. Al final de la fermentación principal, la cerveza verde debe volver a ser enfriada.

▸ *Temperatura de inicio de fermentación*

Usualmente, la temperatura de inicio de fermentación es 5 a 6°C. En procesos con acortamiento del tiempo de fermentación, se aumenta generalmente la temperatura de inicio de fermentación para comenzar más rápidamente la fermentación.

▸ *Temperatura máxima*

Debido al calor liberado durante la fermentación (ver Sección 4.4.2.2.1), aumenta la temperatura del mosto. Si bien la fermentación se desarrolla más rápidamente a mayores temperaturas, se presta mucha atención en no exceder una determinada temperatura máxima en la fermentación por motivos de calidad. Según esta temperatura máxima, se diferencia entre:

- la operación de fermentación fría, con una temperatura máxima de 8 a 9°C y
- la operación de fermentación caliente, con una temperatura máxima de 10 a 15°C.

▸ *Volver a enfriar*

La temperatura máxima es mantenida durante uno a dos días, en lo posible, sin fluctuaciones. Posteriormente, la cerveza verde es enfriada lentamente. Dado que la levadura es sensible frente a descensos fuertes de temperatura, el descenso de temperatura no debe ser mayor que 1 K por día y debe ocurrir uniformemente. La temperatura para el trasiego es aproximadamente 4 a 5°C.

La Figura 4.18 muestra una serie de parámetros importantes (temperatura, contenido de extracto y valor pH) en su desarrollo durante la fermentación. Una de las tareas esenciales del operador de la fermentación es controlar y regular el desarrollo de la temperatura durante la fermentación principal y sobre todo medir la disminución de extracto en los últimos días de la fermentación principal. La fermentación principal clásica dura de seis a ocho días.

Otros procesos de fermentación son tratados en la Sección 4.4.3.

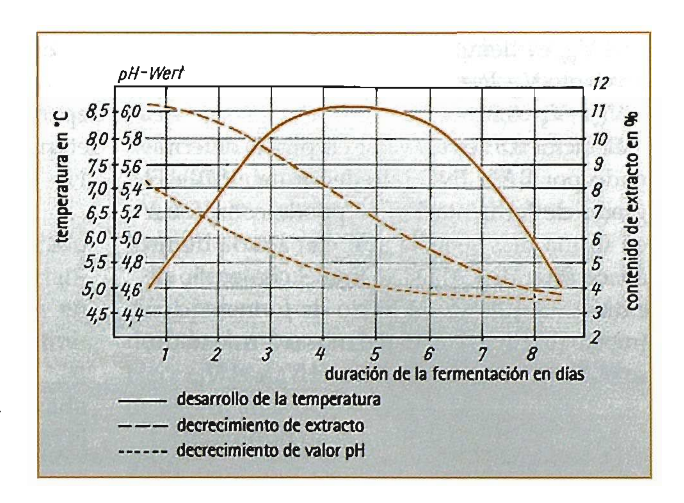


Figura 4.18
Cambios en el desarrollo de temperatura, en el contenido de extracto y en el valor pH durante la fermentación principal

4.3.3.3 Grado de fermentación (grado de atenuación)

Durante la fermentación, el extracto es transformado permanentemente. El alcance de esta transformación se llama grado de fermentación (V).

El grado de fermentación indica qué porcentaje de la cantidad al inicio de fermentación ha sido fermentado.

La diferencia entre el contenido de extracto del mosto al inicio de fermentación y el contenido de extracto de la cerveza en el correspondiente momento de la determinación se llama contenido de extracto fermentado. El cálculo del grado de fermentación (V) se realiza según la fórmula:

$$V = \frac{\textit{contenido de extracto fermentado} \cdot 100\%}{\textit{contenido de extracto del mosto al inicio de fermentación}}$$

Ejemplo:
Al inicio de la fermentación,
el hidrómetro indica un 12% de extracto.
En el momento del trasiego,
el hidrómetro indica un 4% de extracto.
Por lo tanto, se ha fermentado un 8% de extracto.

12% de extracto $\triangleq$ 100%

$$8\% \text{ de extracto} \triangleq \frac{8 \cdot 100\%}{12} = 66{,}66\%$$

El grado de fermentación es 66,7%.

Atenuación aparente y real

Atenuación aparente (o grado de fermentación aparente) (V_s)

El contenido de extracto es determinado en la cava de fermentación con ayuda del hidrómetro de fermentador (Figura 4.19). Pero el grado de fermentación determinado con esta indicación de hidrómetro es sólo aparentemente correcto (V_s), porque la indicación de extracto del hidrómetro (E_s) es alterada por el alcohol formado. Pero, dado que la discrepancia crece proporcionalmente con mayor fermentación y el valor Es es determinable fácilmente, se calcula en planta siempre con la atenuación aparente.

Atenuación real (V_w)

Para obtener la atenuación real, se debe separar el alcohol por destilación en el laboratorio, reemplazando esa cantidad por agua. Por introducción en una fórmula se obtiene la atenuación real V_w. La atenuación

real V_W es siempre menor que la atenuación aparente V_S. Por aproximación vale:

$V_w \approx V_s \cdot 0{,}81$.

El factor 0,81 es un valor empírico, determinado por BALLING (alrededor de 1870). El grado de fermentación se puede comprobar en forma más sencilla aun con ayuda de un ábaco (Figura 4.20): si se une el contenido de extracto del mosto al inicio de fermentación (mosto original) con el del mosto fermentado, se obtiene en la intersección el V_s y el V_w.

Alcance del grado de fermentación

El alcance del grado de fermentación depende en primer lugar del momento de su determinación.

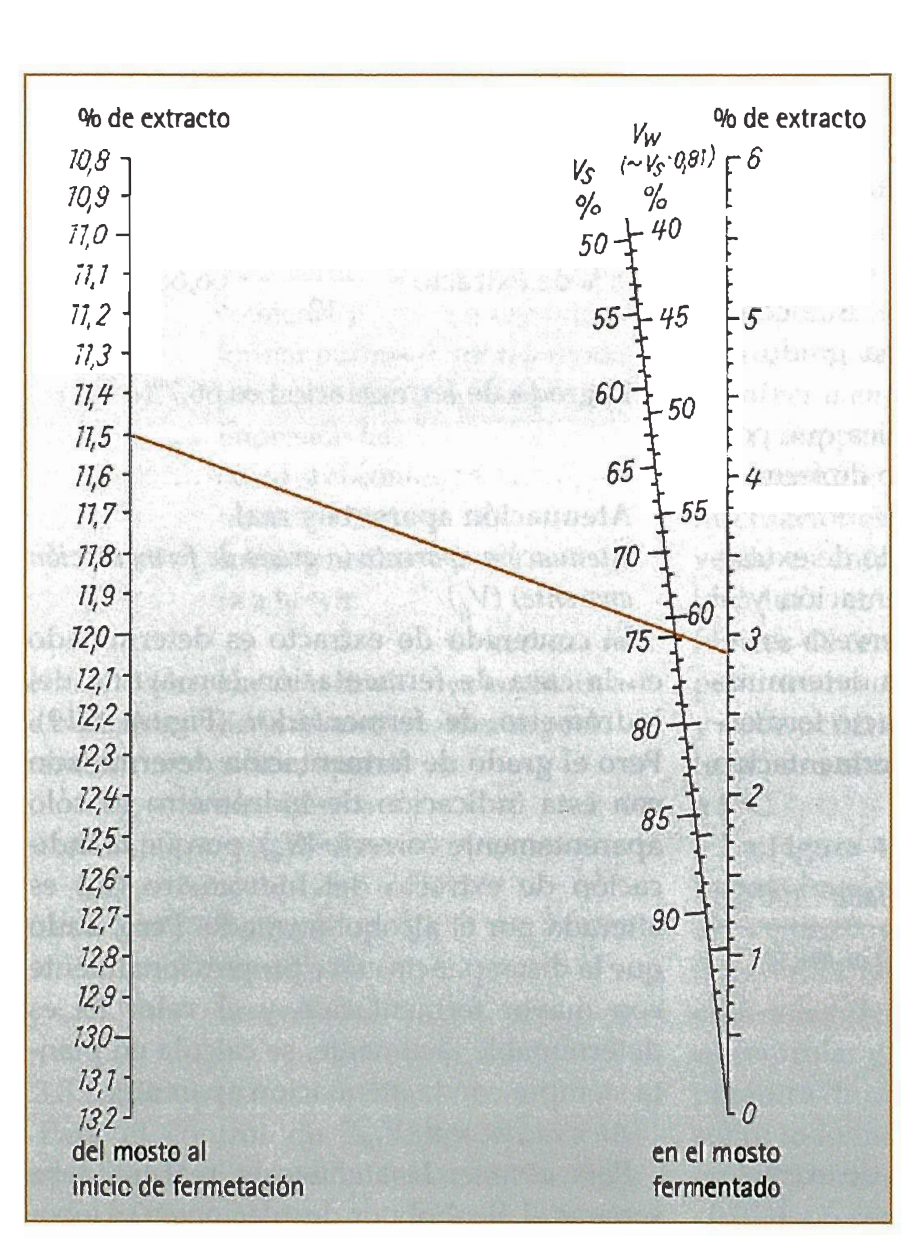


Figura 4.20
Ábaco (nomograma) para la determinación de la atenuación aparente y real en cervezas normales

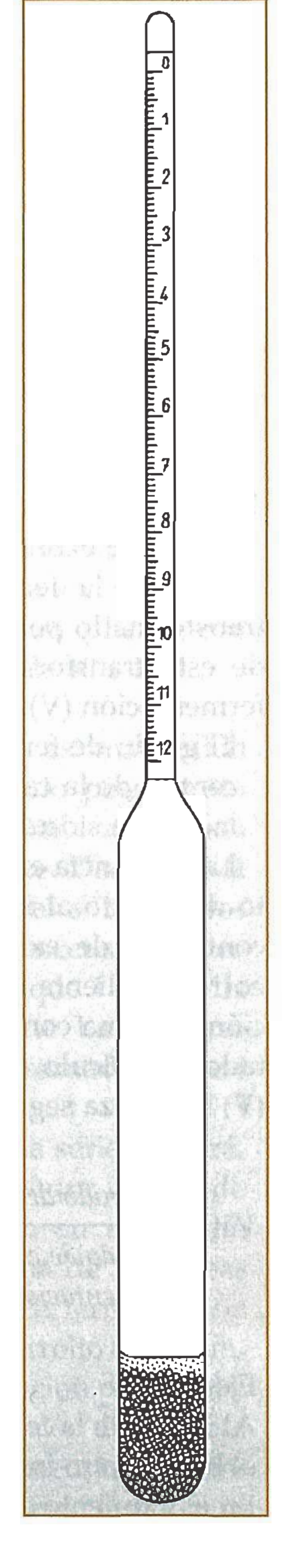


Figura 4.19
Hidrómetro de fermentador

La determinación del grado de fermentación es importante:

al final de la fermentación principal; es decir, en el trasiego (V_S^{cuba} o $V_S^{cava\ ferment.}$), y

al final del reposo; es decir, al final del proceso de producción ($V_S^{alcanz.}$).

A los efectos de tener una medida del grado de fermentación, es primeramente importante saber qué porcentaje del extracto es, en resumidas cuentas, fermentable. Se determina para ello la atenuación límite (V_S^{end}).

Pero, dado que la V_S^{end} recién es alcanzada más tarde en la planta, se la determina en el laboratorio.

Ensayo:

0,3 l de mosto filtrado son mezclados con 3 g de levadura filtrada seca y fermentados en recipiente termostático a 25°C o en un baño de maceración a 30°C en ≤ 8 h. Para esto se puede utilizar también mosto proveniente de la cuba. Luego de dos días se realiza por primera vez la lectura de hidrómetro y posteriormente, una a dos veces por día, hasta que el contenido de extracto deja de descender. Cuando el contenido de extracto no desciende más, se mide la V_S^{end}.

La V_S^{end} se conoce, antes del trasiego, luego de cuatro a cinco días.

La atenuación límite es la máxima atenuación aparente que se obtiene por fermentación de todos los extractos fermentables. Se la establece en la sala de cocción a través de la acción de las enzimas degradadoras de almidón.

La magnitud de la atenuación límite alcanzable para, por ejemplo, cervezas normales claras (Export, Pilsener) es 80 a 84%.

La disminución de extracto no ocurre uniformemente desde el inicio de la fermentación hasta el final de producción; durante la vigorosa fermentación principal se fermenta mucho más que durante la fermentación secundaria calmada.

Ejemplo:
Un cocimiento muestra, durante la fermentación, los siguientes contenidos de extracto y grados de fermentación (Figura 4.21):

Momento	Secuencia de medición	Contenido de extracto en %	Grado de fermentación corresp. en %	Descripción
previo a inicio de fermentación	1.	12,5	0,0	-
durante trasiego	3.	3,9	68,8	V_S^{cuba} grado de fermentación en en cuba o en cava
durante fin de producción	4.	2,3	81,6	$V_S^{alcanz.}$ atenuación alcanzada
totalmente fermentado	2.	2,2	82,4	V_S^{end} atenuación límite

Para el procesamiento ulterior, son importantes:
- la diferencia entre V_S^{cuba} y V_S^{end} y
- la diferencia entre $V_S^{alcanz.}$ y V_S^{end}

Diferencia entre el grado de fermentación en cuba y la atenuación límite

Al trasegar, la cerveza verde debe contener todavía suficiente extracto fermentable para que la cerveza se pueda enriquecer durante la fermentación secundaria con dióxido de carbono bajo presión. Por experiencia, se requiere para ello todavía aproximadamente 1% de extracto. Esto corresponde a una diferencia de aproximadamente 10% entre ambos grados de fermentación.

- El V_S^{cuba} es, en todas las cervezas normales claras 66 a 74%;
- en las cervezas oscuras normales y fuertes es menor que 60%.

Diferencia entre la atenuación alcanzada y la atenuación límite

La $V_S^{alcanz.}$ se determina antes del envasado de la cerveza.

Para ello, se toma una muestra antes del envasado y se la mide con el hidrómetro en el laboratorio. A través de la fórmula se obtiene $V_S^{alcanz.}$. La diferencia entre $V_S^{alcanz.}$ y V_S^{end} depende del extracto aún fermentable. Si la diferencia es mayor, los microorganismos (levaduras o bacterias) encuentran substancias aún fermentables en la cerveza envasada; pueden así propagarse y ocasionar una turbidez.

La $V_S^{alcanz.}$ debe encontrarse lo más cerca posible de la V_S^{end}.

Por lo general, se trata de alcanzar hoy en día la atenuación límite de la cerveza.

4.3.3.4 Trasiego desde la cuba

Se entiende por trasiego la transferencia de la cerveza verde (cerveza joven) desde la cava de fermentación a la bodega de maduración. Es importante para ello conocer el momento correcto para el trasiego, el estado de madurez de trasiego. Durante el trasiego se mezclan entre sí las cervezas verdes de varios cocimientos. Antaño se trasegaba a barriles de maduración; hoy en día se lo hace a tanques (ver Sección 4.3.6).

Reconocimiento del estado de madurez de trasiego

Existen diferentes características para reconocer el estado de madurez de trasiego:

- *Medición con hidrómetro*

En la mayoría de las fábricas de cerveza se registra el contenido de extracto al menos en los últimos días de la fermentación principal. Por experiencia, el contenido de extracto de la cerveza madura para el trasiego es conocido en la planta y está en la cerveza normal en el orden de aproximadamente 3,4 a 4%. Esto corresponde a un V_S^{cuba} de aproximadamente 66 a 69% (en las cervezas normales).

El contenido de extracto debe disminuir dentro de la últimas 24 h sólo en aproximadamente 0,2 a 0,3%.

- *Soplado de la capa de espuma*

Si se sopla fuertemente en la capa colapsada aún no extraída, ésta no debe volver a cerrarse. La superficie de la cerveza debe tener un aspecto negro.

Si la fermentación aún no está tan avanzada, este hueco libre de espuma se cierra al cabo de brevísimo tiempo, debido a la presión de la espuma circundante. La superficie de la cerveza tiene entonces todavía un aspecto fangoso.

- *Vaso de inspección de levadura*

Previo al trasiego, se apartó un pequeño vaso con cerveza verde. Si la cerveza dentro del vaso de trasiego se pone clara, se puede asumir que la levadura en la cuba también ha sedimentado bien. En esto juega naturalmente un papel esencial la raza de levadura.

El momento de madurez de trasiego y el contenido de levadura de la cerveza verde están estrechamente relacionados.

Según el contenido de levadura durante el trasiego, se habla de

- *trasiego verde, es decir, con mucha levadura y mucho extracto para la fermentación secundaria, o de*
- *trasiego limpio, cuando sólo quedan disponibles poca levadura y poco extracto.*

La decisión respecto de realizar el trasiego verde o limpio depende de la levadura utiliza-a y de los factores del reposo.

Trasiego limpio	Trasiego verde
con levaduras de fermentación baja, con una diferencia entre V_s^{end} y V_s^{cuba} de 10 a 12%,	con levaduras de fermentación alta con una diferencia entre V_s^{end} y V_s^{cuba} de 15%,
con tiempo breve de reposo,	con tiempo de reposo prolongado,
en bodegas frías y	en bodegas tibias y
en grandes tanques de fermentación	en pequeños tanques de fermentación

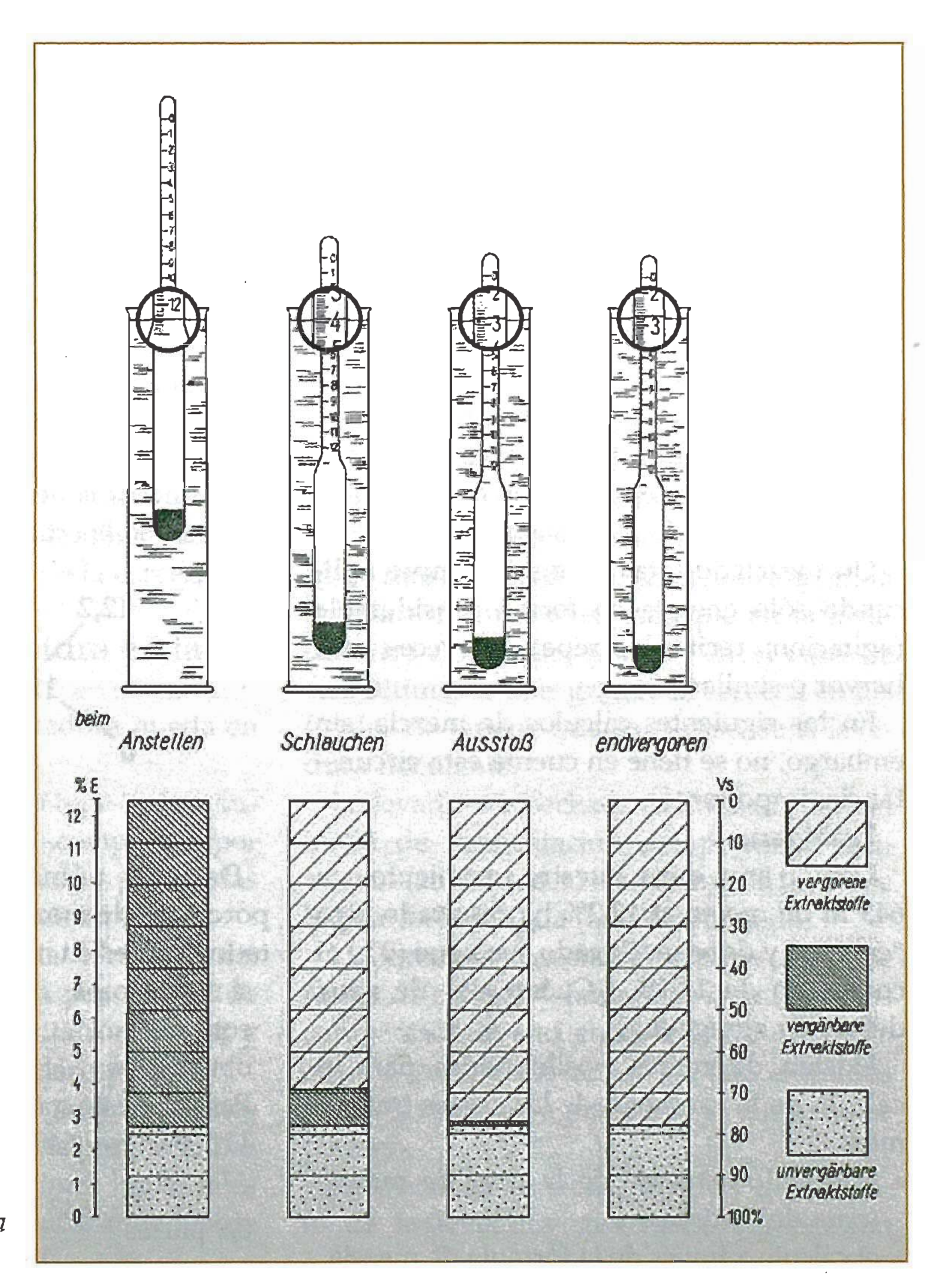


Figura 4.21
Disminución del extracto durante la fermentación y la maduración

Mezcla de la cerveza

Las materias primas utilizadas para la fabricación de cerveza no siempre son iguales y cada cocimiento resulta algo diferente, de manera que al final se obtendrían cervezas de calidad variable. Pero, para evitar esto, la cerveza es mezclada con cocimientos de igual variedad. Esto ya sucede en la cava de fermentación por medio de mezcla de varios cocimientos en la adición del mosto por etapas.

También durante el trasiego se distribuye el contenido de la cuba de fermentación sobre varios tanques de reposo.

No sólo se pueden mezclar cervezas de la misma variedad, sino también se pueden mezclar cervezas de diferente contenido de mosto original.

Básicamente, debe considerarse lo siguiente para el mezclado: es difícil mezclar totalmente dos líquidos entre sí. Esto es tanto más difícil cuanto mayor es la diferencia:

- en la cantidad de componentes,
- de la temperatura de las partes o
- en otros componentes (color, contenido de extracto, contenido alcohólico, etc.).

Un mezclado total se logra siempre aplicando sólo energía en forma considerable (agitación, recircular repetidas veces, dar hervor o similar).

En los siguientes cálculos de mezcla, sin embargo, no se tiene en cuenta esta circunstancia importante.

Problema:

Debido a un error, nuestro cocimiento con 643 hl de mosto al 12,2% ha resultado algo "espeso" y debe ser llevado con agua (0%) al contenido de 11,3%. ¿Cuántos hl de agua deben ser agregados?

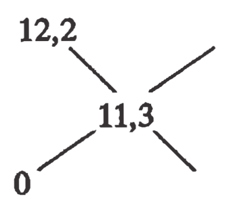
Existen diferentes posibilidades para el cálculo de la cantidad, de las cuales trataremos:

- el cálculo a través de la cruz de mezcla (cruz de Andreas) y
- el cálculo a través de la fórmula de mezcla.

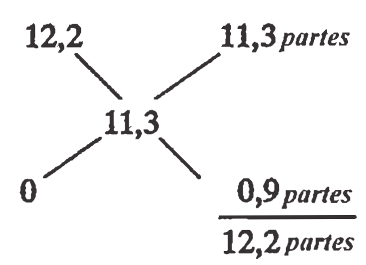
Cruz de mezcla

Se determina en este procedimiento únicamente el factor (la relación de mezcla) con el cual se debe multiplicar la cantidad prefijada de la cerveza a mezclar.

Los contenidos de extracto de las cervezas a ser mezcladas son escritos con espacios entre renglones, uno arriba del otro (se omiten los símbolos de porcentaje, dado que luego se cancelan entre sí). El contenido deseado de extracto de la cerveza mezclada es anotado en el renglón libre, levemente corrido hacia la derecha. Posteriormente se conectan los tres números por medio de una cruz, tal como se muestra.



En los extremos libres de la cruz se anotan los resultados de las diferencias de cada par de números conectados entre sí por el lado opuesto en la cruz:



De estos números obtenemos ahora las porciones de mezcla que conducen al resultado. Esto es en nuestro caso:

si mezclamos	11,3 partes al 12,2%
con	0,9 partes al 0% (agua),
obtenemos	12,2 partes al 11,3%

Pasando esto a nuestros valores, resulta:

11,3 partes = 643 hl

$$0{,}9 \text{ partes} = \frac{643 \text{ hl} \cdot 0{,}9 \text{ partes}}{11{,}3 \text{ partes}} = \underline{\underline{51{,}2 \text{ hl}}}$$

Se deben agregar 51,2 hl de agua para alcanzar el contenido deseado de 11,3%. En total, la cantidad de mosto ha aumentado entonces a (643 + 51,2) = 694,2 hl.

Fórmula de mezcla

cantidad I · contenido de extracto I
+ cantidad II · contenido de extracto II
= cantidad I + II · contenido de extracto III

4

Colocando nuestros números aquí, esto es:

643 hl · 12,2% + cantidad II · 0% = 643 hl · 11,3% + cantidad II · 11,3%
643 hl · 12,2% - 643 · 11,3% = cantidad II · 11,3% - cantidad II · 0%
cantidad II (11,3%-0%) = 643 hl (12,2%-11,3%)

$$\text{cantidad II} = \frac{643 \text{ hl } (12{,}2\text{-}11{,}3\%)}{11{,}3 - 0\%} = \frac{643 \text{ hl} \cdot 0{,}9\%}{11{,}3\%} = 51{,}2 \text{ hl}$$

Comparando, se ve que la última parte del cálculo coincide con el cálculo a través de la cruz de Andreas.

El problema dado muestra cómo se puede calcular una mezcla. De hecho, hay algunas "fallas" en estos datos: así, por ejemplo, en los porcentajes, los cuales deberían ser usados con la densidad 20/4°C, dado que se multiplica con el volumen. También influye la temperatura del mosto o de la cerveza.

4.3.4 Cosecha de levadura en la cuba

Luego del trasiego, la levadura queda en tres capas en la cuba:

La capa más alta es la capa tope de levadura. Ésta está esencialmente compuesta por partículas de espuma colapsada y por células de levadura que han sedimentado tarde.

La capa intermedia es la levadura del núcleo. Ésta está compuesta por células de levadura sanas y de fermentación activa, y su aspecto debe ser lo más claro posible.

La capa más baja, más delgada, es la levadura de fondo. Está compuesta por partículas que han sedimentado en primer lugar, tales como resinas de lúpulo, células muertas de levadura y partículas de trub.

Una cosecha de la levadura de estas capas sólo es posible en teoría y tampoco se la practica, dado que no se pueden determinar diferencias fisiológicas en la capa de levadura, sino solamente diferentes grados de contaminación, los cuales, sin embargo, no pueden ser separados en la cosecha de levadura. La cosecha de levadura es en promedio 2,0 a 2,5 l de levadura espesa por cada 1 hl de mosto al inicio de fermentación; en la levadura floculante es más que en la levadura no floculante, porque, en el caso de esta última, es más grande la cosecha en los fondos de tanque que en el caso de la levadura floculante.

La levadura cosechada es utilizada para el inicio de fermentación del próximo cocimiento (adición seca) o a veces se la lava y se la guarda bajo agua (adición húmeda).

La levadura cosechada siempre contiene restos de cerveza y tanto más cuanto menos compactada se encuentre la levadura. En la adición seca, estos restos no son extraídos por el lavado del agua y, por lo tanto, no se pierden.

Respecto del almacenamiento y tratamiento de la levadura cosechada, ver Sección 4.4.5.

4.3.5 Procesos durante la maduración de la cerveza en tanques convencionales

En la fase de maduración, tienen lugar dos procesos, aparte de la fermentación secundaria, los que deben ser considerados en forma separada:

la saturación de la cerveza con dióxido de carbono, bajo sobrepresión, y la extracción de todos los componentes formadores de trub de la cerveza.

4.3.5.1 Saturación de la cerveza con dióxido de carbono bajo sobrepresión

El contenido de dióxido de carbono depende en primer lugar de la temperatura y de la presión.

Dependencia del dióxido de carbono de la temperatura

La solubilidad del dióxido de carbono en agua es casi tan grande como la solubilidad en la cerveza. Sin embargo, existen pequeñas diferencias, que están representadas en la siguiente tabla de solubilidad (agua, cerveza 12°P/V_S = 80%) (datos en g de CO_2 en 100 g de agua, respectivamente de cerveza):

Temperatura	Solubilidad de CO_2	
en °C	agua	cerveza
0	0,335	0,317
1	0,321	0,306
2	0,309	0,296
3	0,298	0,286
4	0,287	0,276
5	0,277	0,267
6	0,268	0,258
8	0,249	0,241
10	0,232	0,226
15	0,197	0,193
20	0,169	0,165

Dado que las cantidades indicadas de CO_2 están referidas a 100 g de agua, respectivamente 100 g de cerveza, coinciden a la vez con el contenido de CO_2 en %.

La solubilidad del dióxido de carbono es tanto mayor cuanto menor es la temperatura; a mayor temperatura se disuelve substancialmente menos CO_2 en la cerveza.

Esta declaración vale en general para la solubilidad de los gases en líquidos. Pero el grado de solubilidad es diferente para cada gas.

Dependencia del contenido de dióxido de carbono de la presión

Según la Ley de Henry, la solubilidad de los gases aumenta en forma proporcional a la presión. Esto significa que la cantidad de dióxido de carbono disuelto en la cerveza aumenta si se aumenta la presión en el recipiente.

Ejemplo:

A +1°C de temperatura de maduración y presión atmosférica, se disuelve en la cerveza 0,306% más (porcentaje másico) de dióxido de carbono.

¿Cómo aumenta ahora la solubilidad con presión creciente si la temperatura se mantiene constante en +1°C?

Para la determinación, se multiplica el contenido de dióxido de carbono a la temperatura en cuestión (ver arriba) por el valor numérico de la presión absoluta que actúa sobre el contenido del recipiente:

1,0 bar ≙ 0,306% · 1,0 = 0,306% de CO_2
1,1 bar ≙ 0,306% · 1,1 = 0,337% de CO_2
1,2 bar ≙ 0,306% · 1,2 = 0,367% de CO_2
1,3 bar ≙ 0,306% · 1,3 = 0,398% de CO_2
1,4 bar ≙ 0,306% · 1,4 = 0,428% de CO_2
1,5 bar ≙ 0,306% · 1,5 = 0,459% de CO_2

La solubilidad del dióxido de carbono aumenta con presión creciente.

La cerveza envasada debe contener aproximadamente 0,5% de dióxido de carbono. Se debe entonces ajustar la contrapresión en dependencia de la temperatura de la bodega de maduración, de manera tal que la cerveza contenga más de 0,5% de dióxido de car-

no, dado que, durante el camino al envasado, se pierde algo de aquel. Una cerveza con un contenido de dióxido de carbono de 0,32% es considerada sosa.

El dióxido de carbono formado durante la fermentación secundaria se fuga de la cerveza, siempre que no sea ligado por la presión aumentada. El dióxido de carbono que escapa ejerce sobre la cerveza un efecto de barrido de gas, extrayendo gases volátiles de fermentación; aporta de este modo a la maduración de la cerveza.

En 4.1.2.5 se mencionó que una parte de los compuestos de azufre escapa por este camino, en tanto que la parte mayor de los compuestos de azufre se transforma bioquímicamente con los contenidos de la cerveza. Sin embargo, hay otros componentes volátiles que son extraídos por el barrido de gas de dióxido de carbono. Por ello, es posible acortar el proceso de maduración a través de una intensificación del barrido de gas. Pero esto no es posible sin adición de dióxido de carbono.

4.3.5.2 Clarificación de la cerveza

En la cerveza verde trasegada, se encuentran aún células de levadura que enturbian la cerveza verde y que sedimentan lentamente en el tanque de reposo. La sedimentación de la levadura depende en primer lugar de la duración del reposo. Influyen en ello la temperatura uniforme de reposo, la cual impide un redisposición dentro de la cerveza, y el tamaño del tanque de reposo; porque los tanques pequeños tienen una superficie relativamente mayor, referida al contenido, que los tanques grandes de reposo.

Pero la cerveza verde no sólo está turbia debido a la levadura, sino que aún flotan en la cerveza partículas de turbidez en frío, que se formaron recién por el enfriamiento ulterior. Cuanto más frío se realiza el reposo, tanto más precipita de éstas. Estas partículas son muy pequeñas y por ello su sedimentación es muy lenta. Una parte es absorbida por la levadura. Es muy importante extraer de la cerveza los componentes de turbidez en frío antes de la filtración o por medio de esta última. Por este motivo, el reposo debería ser realizado a -1°C.

La clarificación de la cerveza puede ser acelerada por el agregado de virutas que agrandan la superficie. Para ello, se usan virutas de madera de haya o de avellanas, las cuales han sido previamente esterilizadas. A veces también se utilizan láminas de metal ligero. El uso de virutas es raramente aplicado, porque implica trabajo y costos adicionales. Por otro lado, se ahorran costos porque el filtro no se tapa tan rápidamente y por ello no requiere ser regenerado tan a menudo.

La clarificación de la cerveza es favorecida por

- duración de reposo prolongada,
- pequeños tanques,
- reposo frío y uniforme y
- adición de virutas.

Para permitir la precipitación de las partículas de turbidez en frío, las cervezas se dejan en reposo durante mínimamente 7 días a temperaturas de -2 a -1°C.

La levadura sedimentada en los tanques de reposo se llama fondos de tanque.

4.3.6 Equipamiento de la bodega de maduración convencional

4.3.6.1 Equipamiento de la bodega de maduración

Durante la producción, la cerveza permanece el mayor tiempo en la bodega de maduración. Por ello, la bodega de maduración es la sección más grande de la fábrica de cerveza. Usualmente está formada por un pasillo principal, en el que convergen las secciones individuales de tanques y barriles. La sección de bodega de maduración hacia la cual

se trasiega debe ser mantenida siempre con una temperatura algo mayor para que la fermentación secundaria pueda comenzar bien. La bodega de maduración está aislada del medio ambiente por medio de gruesos muros y aislación térmica, y está equipada con una refrigeración ambiental intensiva. Esta refrigeración consiste en tubos con salmuera dispuestos de manera tal que el agua de goteo no pueda caer sobre los tanques, porque ello causaría marcas de herrumbre (Figura 4.23).

Se calcula para el enfriamiento de la bodega de maduración con un requerimiento diario de frío de aproximadamente 3000 kJ por m^2 de superficie de piso. Debido a su gran superficie, la bodega de maduración es el mayor consumidor de frío en la fábrica de cerveza.

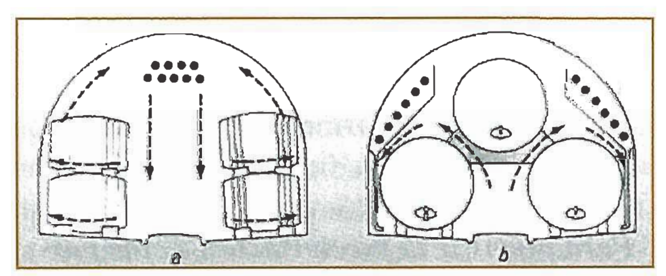


Figura 4.23
Refrigeración ambiental con tanques de reposo convencionales
a) bodega de maduración con barriles de madera,
b) tanques de reposo

4.3.6.2 Tanques de maduración

El reposo clásico raramente ocurre en barriles de madera, sino generalmente en tanques metálicos.

Barriles de madera

Los tanques de reposo más antiguos son los barriles de madera, con un contenido de 15 a 150 hl. A los efectos de aprovechar la bodega de maduración lo mejor posible, los barriles de reposo superiores están montados en los espacios entre los barriles inferiores. Pero, debido a su forma muy propia, los barriles tienen un muy mal aprovechamiento del espacio. Su gran superficie de limpieza interior y exterior implica un gran esfuerzo de trabajo. Pero la desventaja principal es que los barriles de reposo deben ser embreados una vez por año. Deben ser extraídos para ello de la bodega y, luego del embreado, deben ser introducidos nuevamente en la bodega y montados. Esto implica un gran esfuerzo de trabajo que ya es difícil de justificar.

Por ello, hoy en día sólo muy raramente se encuentran barriles de madera –en plantas pequeñas.

Tanques metálicos

Como tanques metálicos se utilizan tanques de acero o aluminio. La mayoría de los tanques de reposo está compuesta por tanques de acero. Poseen un revestimiento de esmalte, brea o resina sintética, debido a la influencia sobre el sabor por parte del hierro.

La mejor opción son los tanques de acero inoxidable de calidad V2A, que no requieren revestimiento alguno (ver Sección 6.1.2).

Los tanques de acero se construyen usualmente como tanques horizontales. Están soldados formando una pieza o están compuestos por varios segmentos, unidos por tornillería o soldados entre sí (tanques formados por anillos). Más raramente se encuentran tanques verticales en las bodegas de reposo, los cuales, sin embargo, están divididos una o dos veces en altura para una mejor limpieza (tanques celulares verticales).

También se encuentran frecuentemente tanques de aluminio en las bodegas de reposo. Es especialmente ventajoso que el aluminio no necesita revestimiento si ha sido pasivado suficientemente. Por lo demás, vale para el uso de tanques de reposo de aluminio lo mismo que para el uso de todos los recipientes de aluminio (ver Sección 6.1.1).

Una desventaja del aluminio es su reducida estabilidad, de manera que es fácilmente deformable por descuido. Los recipientes de aluminio son muy sensibles al vacío, como también lo son todos los otros tanques.

4.3.7 Realización del reposo en tanques convencionales

Para la realización del reposo, la cerveza debe ser trasegada a los tanques de reposo. Los tanques de reposo están provistos de un cierre, el aparato de ajuste de contrapresión, para poder ajustar el contenido de dióxido de carbono en la cerveza.

Respecto de la duración del reposo, regía antaño la vieja regla cervecera:

¡Una semana de reposo por cada uno por ciento de contenido de mosto original!

En esto, una temperatura de reposo de 0 a 1°C era considerada la norma. Pero, si desciende inmediatamente la temperatura a 0°C, la levadura ya no tiene posibilidad alguna de degradar el diacetilo, de manera que el contenido de diacetilo podía ser aún bastante alto también después de una prolongada duración de reposo.

Hoy en día se deja reposar por lo menos durante dos a tres semanas. Pero, antes de bajar la temperatura para refrigeración casi subcero, se debe controlar primeramente la degradación de diacetilo. Sin embargo, dado que los tanques de reposo no están equipados con refrigeración individual, recién puede descender la temperatura en la sección cuando ha sido degradado el diacetilo en todos los tanques. De esta manera, se prolonga la duración del reposo. También aquí se trata de lograr una fase de reposo en frío de al menos una semana.

4.3.7.1 Trasiego (transferencia por bombeo)

En el trasiego se conectan los tanques de reposo con los de fermentación por medio mangueras y se transfiere de esta manera la cerveza verde a los tanques de reposo. En este proceso, los tanques de reposo son llenados hasta aproximadamente una distancia equivalente al ancho de una mano debajo del orificio de tapón. A fin de evitar que se produzcan una pérdida innecesaria de dióxido de carbono y una aireación, el trasiego a los tanques ocurre por abajo y manteniendo una leve sobrepresión.

Durante el trasiego, la fermentación es todavía relativamente activa. Por ello, el tanque de reposo no es taponado inmediatamente con el aparato de ajuste de contrapresión, sino recién después de dos a tres días.

En el caso de estar muy llenos, se forma sobre los tanques de reposo una capa blanca de espuma, a través de la cual se extraen partículas de trub y componentes de extracto ("rebose de espuma"). A los efectos de evitar esta pérdida, los tanques de reposo no son llenados primeramente de forma total; se completan luego de un tiempo, cuando ya no existe el riesgo de pérdida de espuma.

Para obtener una calidad uniforme de cerveza, se mezcla, en lo posible, el contenido de la cuba en varios tanques, de manera que en cada tanque se encuentre cerveza de varios cocimientos.

4.3.7.2 Regulación de presión

Por medio del cierre del tanque de reposo con el aparato de ajuste de contrapresión, se evita el escape sin presión del dióxido de carbono. De esta manera, aumenta la presión en el tanque de reposo. El aparato de ajuste de contrapresión sirve para la regulación de la presión.

Distribución de la presión en el tanque de reposo

La presión aumentada, que se desarrolla en los tanques de reposo, tiene efecto en forma uniforme hacia todos lados.

Es obvio que la presión en el tanque de reposo no puede ser aumentada indiscriminadamente. De lo contrario, la fuerza muy elevada causaría la rotura del fondo y se podrían producir considerables daños materiales y también personales.

Aparatos de ajuste de contrapresión

Se debe evitar por todos los medios que la presión en el interior de los tanques de repo-

so aumente más de lo deseado debido al CO_2 que continúa formándose. Se emplean para ello aparatos de ajuste de contrapresión como válvulas de rebose y de seguridad.

El aparato de ajuste de contrapresión es tanto válvula de sobrepresión como regulador de presión.

Los aparatos de ajuste de contrapresión más antiguos trabajan con una columna de agua (aparatos de ajuste de contrapresión por agua). Para mantener en el tanque de reposo una sobrepresión de 0,3 bar, el dióxido de carbono que escapa debe vencer una columna de agua de 3 m de altura antes de poder escapar. De acuerdo con esto, los aparatos de ajuste de contrapresión por agua son tubos metálicos o también de vidrio de aproximadamente 4 m de longitud, los cuales están llenos de agua hasta la altura deseada. En lugar de un tubo alto, se puede tener también varios pequeños, conectados uno detrás del otro.

Más tarde se substituyó el agua por el mercurio, cuyo peso es 13,6 veces el del agua (aparatos de ajuste de contrapresión por mercurio). Dada la mayor densidad del mercurio, la columna de éste sólo tiene que ser 1/13,6 de la del agua. Una presión de 0,1 bar equivale a 1 m de columna de agua o 100 cm: 13,6 = 7,4 cm de columna de mercurio.

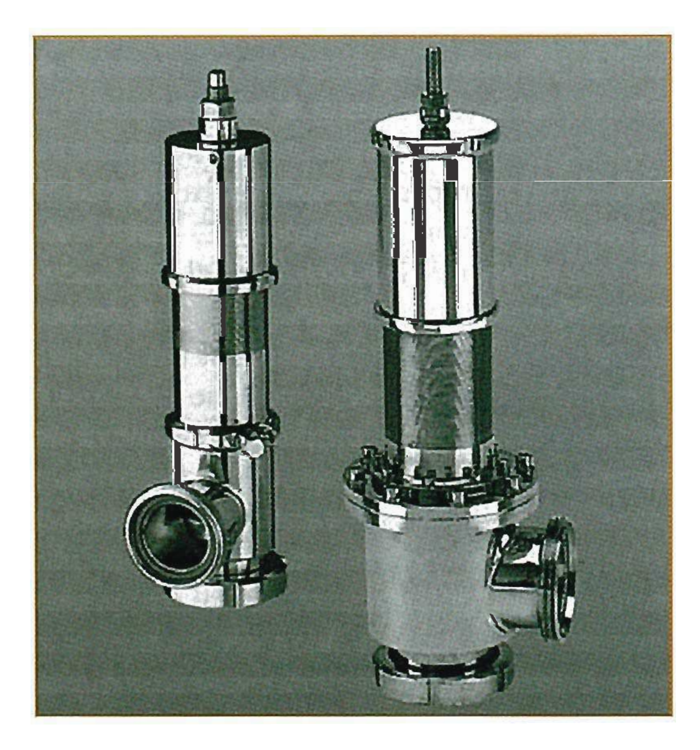


Figura 4.24
Válvula de seguridad a presión de resorte

Pero los vapores de mercurio son muy venenosos y los aparatos de ajuste de contrapresión por mercurio ya hace tiempo que han desaparecido de la fábrica de cerveza. Hoy en día se utilizan válvulas de resorte o válvulas de contrapeso, que son ajustables en forma precisa y se abren a una determinada presión interior y alivian la sobrepresión. La figura 4.24 muestra una válvula tal de seguridad contra sobrepresión.

Fuentes de error durante la regulación de presión

Puede suceder que el aparato de ajuste de contrapresión, respectivamente la válvula de sobrepresión, no opere. En ese caso, existen varias posibilidades:

La cerveza se trasegó demasiado clarificada y ya no contiene suficientes extractos fermentables para lograr una saturación a la presión deseada, o la levadura ya no tiene suficiente poder de fermentación y ya ha sedimentado.

En ese caso, la cerveza debe ser mezclada con cerveza verde en estado de fermentación al inicio de la fermentación principal, para suministrar extractos fermentables, y levadura fresca que se encuentra fermentando en la fase logarítmica. Este procedimiento es llamado adición de Krausen.

Se debe cuidar durante la adición de Krausen que la levadura no sea enfriada en forma abrupta por bajas temperaturas, porque, de lo contrario, se detendría la fermentación.

En algunas fábricas de cerveza, se efectúa siempre la adición de Krausen a los efectos de obtener un sabor más suave.

Puede haber puntos no herméticos, a través de los cuales puede fugarse sin obstáculos el CO_2. La mejor manera de realizar la inspección de fugas es recubriendo o rocian-

de un medio de enjuague concentrado, el cual formará espuma en el lugar en el que se produce la fuga.

Puede ocurrir que esté bloqueada la conexión al interior del tanque de reposo. Ello puede suceder si el tanque está demasiado lleno y las capas de espuma se fugan a través la válvula de seguridad, causando un aglutinamiento, o si se encuentra instalado un grifo, que está cerrado. Sin embargo, las disposiciones de seguridad prohíben la instalación de tuberías con cierres.

En este caso, la fermentación continúa, aunque un poco retardada, debido a la presión más elevada. El aumento de la presión puede ser tan grande que se produce finalmente el reventón, rompiéndose el fondo del tanque, la entrada de hombre o una costura de soldadura.

4.3.8 Conexión a tanque

Por conexión a tanque se entiende la realización de la conexión entre el tanque de reposo y la sección de llenado, donde se debe llenar el contenedor. La conexión a tanque depende de la construcción de los tanques de reposo utilizados. En esto, los requerimientos básicos son:

- Debe mantenerse la presión sobre el líquido en el tramo de llenado, dado que, de lo contrario, se escapa el CO_2.
- Debemos hacer todo lo posible para evitar una absorción de oxígeno por parte de la cerveza.

4.3.8.1 Realización de la conexión

Antaño, la conexión a los tanques de reposo era un problema especial, porque el punto más bajo de los tanques se encontraba muy por debajo del portón de salida, por lo cual se debían utilizar grifos especiales con tubos, que aún hoy en día pueden ser admirados en los museos cerveceros. También los tanques más antiguos tienen a veces cierres que requieren un grifo de conexión a tanque.

Los tanques modernos tienen siempre una tubuladura roscada con grifo, a la que se puede conectar la manguera. Los cerveceros entienden por grifo todas las válvulas con palanca de mano.

Si ahora la cerveza entrara en contacto con aire, esto perjudicaría la calidad de la cerveza. Además, esta última formaría espuma y perdería por ello CO_2.

Es por eso que la manguera de conexión a tanque es llenada con agua desaireada (o se barre la tubería con CO_2 y se la mantiene bajo presión con CO_2) y posteriormente se abre la conexión. Pero de esta manera se produce en el tramo de llenado una mezcla de la última agua y la primera cerveza. Esta mezcla es denominada mezcla inicial. Pero, como también se desplaza la cerveza con agua, se tiene también una mezcla final. En el vaso de inspección se puede reconocer la separación por cambio del color; pero éste no es abrupto, sino paulatino.

Las mezclas inicial y final son retenidas y tratadas separadamente.

Debido al mezclado con agua, se produce también una disminución del contenido de mosto original, que debemos tener en cuenta, dado que debemos pagar impuestos por la cerveza. ¡Estos últimos dependen del contenido de mosto original!

4.3.8.2 Presión durante la conexión a tanque y el vaciado

Hasta el proceso de llenado, hay en el tanque de reposo una sobrepresión de aproximadamente 0,5 bar. Si ahora se extrajera la cerveza, disminuiría la presión en el tanque en el caso de no suministrarse gas adicional. Esto sucede por medio del suministro de CO_2 o aire comprimido al tanque.

Pero con el aire comprimido llega aire a la cerveza y la absorción de oxígeno empeora nuestra calidad. Es por ello deseable suministrar dióxido de carbono al tanque para evitar una oxidación. El dióxido de carbono

se produce en masa durante la fermentación y debe ser acumulado, lo cual sin embargo casi no es posible en fermentación abierta. Veremos, en la fermentación en tanques cilindrocónicos, que allí se tienen otras posibilidades.

La presión acelera el proceso de llenado. Pero el material del tanque no puede ser cargado ilimitadamente. La presión aplicada sobre el tanque durante la extracción es usualmente 0,9 a 1,0 bar (m) y en barriles únicamente 0,5 a 0,6 bar (m).

No sólo debido a presión demasiado alta, sino también debido a presión demasiado baja puede producirse gran daño:

Si la válvula de la tubería de gas de presión no es abierta en la extracción, se produce una presión negativa durante el vaciado del tanque, que puede causar el colapso de este último.

Particularmente, los tanques de aluminio corren mucho riesgo debido a la blandura del material. Los tanques colapsan totalmente y deben ser desabollados nuevamente con gran esfuerzo. Una reducida presión negativa tiene un efecto particularmente perjudicial sobre tanques cilindrocónicos.

4.3.9 Extracción de tanques convencionales

En la extracción, la cerveza es conducida desde el tanque de reposo al filtro a través del mezclador y el regulador de presión. Frecuentemente, se enfría la cerveza adicionalmente en una instalación frigorífica a baja temperatura para hacerla más estable.

4.3.9.1 Mezclador

La cerveza es suministrada al mezclador. Con ello es posible mezclar dos o más tanques entre sí para lograr una calidad uniforme de cerveza.

Cuando un tanque está terminando de vaciarse –ello se reconoce por el hecho de que la cerveza se enturbia en el vaso de inspección y de que aparece espuma–, ya puede comenzar el vaciado del próximo tanque. De esta manera no hay interrupción alguna en el flujo de cerveza, no hay golpes de ariete, que pueden ser peligrosos para la filtración, así como tampoco ingresa O_2 a la cerveza.

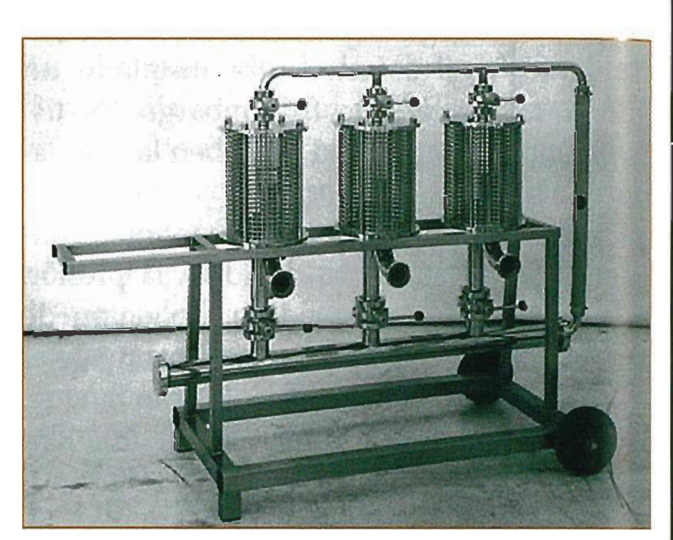


Figura 4.25
Mezclador de tres puntos, operable de forma manual

El mezclador ofrece 2 a 6 conexiones para las mangueras a los tanques de reposo. A cada conexión le corresponde un vaso de inspección. El mezclador permite una descarga continua y sin problemas, así como un monitoreo de la cerveza a través del vaso de inspección (Figura 4.25).

Usualmente un vaso está previsto para la conexión de agua, para poder llenar la tubería y desplazar la cerveza al final (mezcla final).

4.3.9.2 Regulador de presión

La última estación en la bodega de maduración es el regulador de presión, por medio del cual se suministra a presión constante la cerveza a la planta de filtración. Esto se realiza a través de bombas estacionarias, que generalmente están equipadas con regulación de velocidad, a través de un converti-

d. de frecuencia. La regulación ocurre de manera tal que no se produzcan golpes de ariete.

Con la filtración en progreso aumenta la presión necesaria. Es por ello que la bomba debe ser regulada permanentemente si el regulador de presión es a la vez bomba de filtro. Si la planta de filtración tiene una bomba separada, el regulador de presión puede ser operado con presión casi constante, respectivamente regulado de manera tal que se mantenga constante el nivel en el tanque de amortiguación ubicado antes del filtro.

4.3.9.3 Recuperación de la cerveza de fondos de tanque

Los fondos de tanque retienen una cantidad de cerveza, denominada cerveza de fondos de tanque o cerveza colada. Esta cerveza residual debe ser recuperada, pero naturalmente ya no contiene CO_2 y, en el caso de tanques de fermentación abierta, también ya está infectada. La mezcla de cerveza colada y levadura puede ser filtrada con una prensa de fondos de tanque y la levadura de fondos de tanque puede ser vendida a los ganaderos como alimento para ganado. La cerveza de fondos de tanque es tratada separadamente (ver Sección 4.4.6.4).

4.3.9.4 Refrigeración de la cerveza a baja temperatura

Algunas fábricas de cerveza enfrían mucho la cerveza, una vez más antes de la filtración, para precipitar partículas de turbidez en frío y lograr con ello que la cerveza sea más estable al frío.

Se utilizan para ello instalaciones refrigeradoras de cerveza, que están compuestas por intercambiadores de calor de haz tubular o de placas, y refrigeran la cerveza con agentes refrigerantes (salmuera o solución de glicol) a -2 a -3°C.

Por lo general, se sobreestima la ventaja de una instalación refrigeradora, porque la turbidez por frío recién aparece después de un tiempo de reposo prolongado a temperaturas más bajas; es decir, después de días, y es cuestionable el éxito del enfriamiento realizado inmediatamente antes de la filtración. Existe además el riesgo de problemas de filtración, debido al aumento de la viscosidad a bajas temperaturas.

Para la precipitación segura de las partículas de turbidez en frío se debería dejar reposar la cerveza mínimamente durante una semana a una temperatura de -2 a -1°C antes de la filtración.

4.3.9.5 Mezcla inicial y mezcla final

En todos los procesos de transferencia (trasiego, extracción) se forman fracciones de mezcla de agua a cerveza o viceversa. Estas mezclas iniciales y finales son recogidas separadamente. Casi siempre están oxidadas, siempre están contaminadas y contienen cerveza diluida. Estas fracciones deben ser esterilizadas por medio de pasteurización flash y posteriormente se las agrega a presión a la cerveza.

Debido al menor contenido de extracto de estas mezclas iniciales y finales, se debe incrementar el contenido de mosto original de la cerveza en 0,2-0,3%, para alcanzar el contenido exigido.

Las instalaciones modernas evitan de manera amplia las mezclas iniciales y finales.

4.4 Fermentación y maduración en tanques cilindrocónicos

Con las cubas de fermentación y los tanques de reposo previamente usuales sólo se puede trabajar hasta un determinado tamaño. La necesidad obligada de obtener mayor rentabilidad y mayores volúmenes llevó inevitablemente también a la introducción de unidades de producción más grandes en la fermentación y maduración de la cerveza. El resultado son tanques de fermentación y de reposo cilindrocónicos, cuya ausencia

sería hoy en día impensable en la mayoría de las fábricas de cerveza. Se han impuesto porque ofrecen no sólo ventajas operacionales, sino también seguridad cualitativa en la fermentación y maduración de la cerveza.

4.4.1 Construcción e instalación de tanques cilindrocónicos

Para la construcción e instalación de los tanques cilindrocónicos nos interesa en particular

- el diseño y la forma de los tanques cilindrocónicos,
- sus alturas, diámetros, volúmenes, tamaños de tanque, espacio para ascenso de la capa de espumas, así como
- su instalación y disposición.

4.4.1.1 Diseño, forma y material de los tanques cilindrocónicos

Los tanques cilindrocónicos se construyen con una parte superior cilíndrica y una parte inferior de forma cónica. Esta forma resulta del hecho de que la levadura se acumula abajo y puede ser bien y completamente extraída de esta manera. También debido a ello es posible un mejor vaciado y una mejor limpieza.

Al principio, los tanques cilindrocónicos se construían de acero oxidable (acero al carbono) y se los proveía de un recubrimiento de resina epoxi para protegerlos de la cerveza. Este recubrimiento era inspeccionado regularmente para la detección de daños y debía ser renovado a intervalos. Hoy en día se construyen los tanques cilindrocónicos –así como también los recipientes para cocimiento, filtros, etc.– casi exclusivamente de acero inoxidable al cromo-níquel, el que es denominado acero tipo V2A por casi todos los cerveceros. Existen, sin embargo, muchos tipos de acero inoxidable. Al respecto, ver Sección 6.1.2.

Pero no solamente el material del tanque es de importancia, sino que igualmente importante es la superficie interior del tanque. Debe ser lo más plana posible y no mostrar ningún tipo de depresión en el rango microscópico. Estas irregularidades debidas a la fabricación se denominan rugosidad. La profundidad de rugosidad puede ser reducida por medio de un tratamiento apropiado de las superficies. La medida característica de la estructura superficial es la rugosidad media aritmética (Ra), la cual depende de la profundidad de rugosidad. La rugosidad media aritmética debería ser Ra < 0,8 μm. Puede ser reducida por esmerilado y pulido hasta 0,25 μm, lo cual, naturalmente, trae aparejados costos adicionales.

Las paredes cilíndricas laterales (cuerpos) son laminadas en frío según el procedimiento IIIc (Figura 4.26a). Con ello se logra una rugosidad media aritmética de 0,3 a 0,5 μm, la cual satisface altas exigencias, aun sin tratamiento ulterior, siempre que no se produzcan daños. Esta profundidad de rugosidad corresponde aproximadamente a la superficie de un material IIa con esmerilado de grano 240 (b). Pero una rugosidad media aritmética tal no es suficiente para el fondo cónico, el cual es fabricado a partir de chapa laminada en caliente, porque durante la limpieza deben ser eliminadas todas las células de levadura y partículas de trub y no debe quedar residuo de ningún tipo por razones de seguridad. Debe tenerse en cuenta que aquí no hay controles visibles. Estos fondos cónicos son pulidos (mecánicamente) con polvo de esmeril cada vez más fino –en lo posible, de forma vertical– hasta una rugosidad media aritmética de aproximadamente 0,25 μm (c).

Para explicación: el pulido electrolítico es un proceso, en el cual las piezas a ser pulidas son tratadas en un gran baño con esmeril fino. Las vibraciones necesarias para ello son generadas eléctricamente. El proceso no es aplicable sobre los enormes fondos cónicos.

Un punto de interés particular son las costuras de soldadura, las cuales hoy en día deben ser esmeriladas finamente para evitar

el depósito de contaminaciones (Figura 4.26). La levadura de cultivo tiene un tamaño de 6 a 10 µm. Una célula tan grande no puede mantenerse sobre un fondo laminado. Pero las bacterias y las esporas tienen un tamaño de 0,5 a 4 µm y ahí ya es más posible que en un fondo con mayor profundidad de rugosidad quede algún residuo y se propague. Esto concierne a bacterias y pequeñas levaduras salvajes, que se depositan de esta manera y que, con el tiempo, causan contaminaciones. Es por ello que el contenido del tanque debe ser examinado muy minuciosamente respecto de contaminaciones y, dado el caso, deben incluirse una limpieza y una desinfección intensivas (ver Sección 4.4.7).

Aquí cumple una tarea importante el control biológico de planta.

4.4.1.2 Tamaño de los tanques cilindrocónicos

Los tanques cilindrocónicos se construían en casi cualquier tamaño –hasta 40 m de altura y más de 10 m de diámetro–. Hoy en día se es más cuidadoso en el dimensionamiento, en especial para tanques de fermentación cilindrocónicos. Ello se debe a experiencias y ensayos, dado que ciertas magnitudes no deberían ser excedidas en la refrigeración por camisa [46].

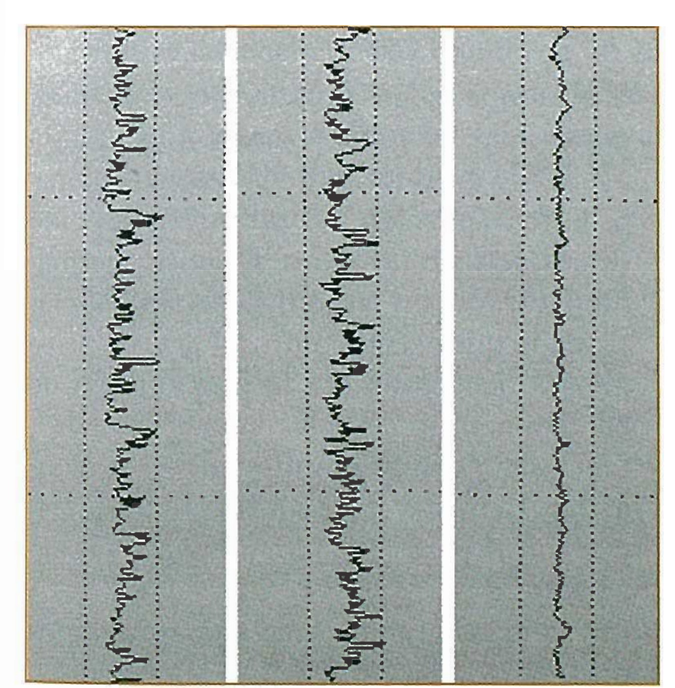


Figura 4.26
Superficie interna con diferentes profundidades de rugosidad
(a) material IIIc sin tratar, (b) material IIa con esmeril 240, (c) superficie interior de cono pulida

4.4.1.2.1 Altura de mosto en el tanque de fermentación cilindrocónico

Se ha demostrado en ensayos que la composición de los productos secundarios de fermentación es afectada por la altura del mosto. Debemos considerar que una célula de levadura, que se encuentra fermentando a 20 m de profundidad, soporta una carga de una columna de mosto de 20 m de altura, que contiene CO_2. La altura posible de la columna de mosto es limitada en esto por el contenido de CO_2. De acuerdo con los conocimientos actuales, la altura del mosto en el tanque de fermentación cilindrocónico debería ser 20 m como máximo. Pero también hay muchos tanques de fermentación cilindrocónicos con una altura de llenado de 23 a 27 m. La altura de mosto no tiene importancia en el tanque de reposo cilindrocónico, siempre y cuando haya finalizado el proceso de maduración (degradación de diacetilo).

4.4.1.2.2 Relación entre diámetro y altura de mosto

Existen diferentes opiniones respecto de la relación entre diámetro y altura de mosto en tanques de fermentación cilindrocónicos. La relación varía de 1:1 a 1:5. En tiempos recientes se discute más intensamente sobre recipientes más anchos [46]:

- la relación entre diámetro y altura total de mosto debería ser 1:2;
- la relación entre diámetro y altura de mosto en el cilindro debería ser 1:1 a 1:1,5.

En los tanques cilindrocónicos con refrigeración por camisa, la relación diámetro: altura tiene influencia sobre la homogeneidad

del contenido, sobre todo cuando ya sólo se forma poco CO_2.

La mayoría de los diámetros de tanque se encuentra entre 3,50 y 4,50 m y esto significa también un problema de transporte. El ángulo interior del cono puede estar entre 60° y 90°, siendo usuales 60° a 75°. Es importante saber para los cálculos que, con un ángulo de cono de 60°, la altura del cono equivale a 0,866 veces el diámetro.

El cálculo del contenido del tanque de fermentación cilindrocónico resulta de la suma de (Figura 4.27)

- la parte cilíndrica: $r^2 \cdot \pi \cdot h$ y
- la parte cónica: $\dfrac{r^2 \cdot \pi \cdot h}{3}$

Ejemplo:

En un tanque de fermentación cilindrocónico (abreviado: TFCC), la altura total del mosto es 9,40 m. El diámetro del TFCC es 4,20 m y la altura del cono es 3,60 m. ¿Cuántos hl de mosto puede contener el TFCC?

	altura total de mosto	9,40 m
–	altura de cono	3,60 m
=	altura de cilindro	5,80 m

parte cilíndrica:

$2{,}10\ m \cdot 2{,}10\ m \cdot 3{,}14 \cdot 5{,}80\ m = V_{cil}$

parte cónica:

$2{,}10\ m \cdot 2{,}10\ m \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}60\ m : 3 = V_{con}$

	V_{cil}	=	80,31 m^3
+	V_{con}	=	16,62 m^3
	V_{tot}	=	96,93 m^3 = 969,3 hl

El tanque puede contener 969 hl de mosto.

4.4.1.2.3 Tamaño de los tanques

El tamaño de los tanques cilindrocónicos se dimensiona conforme a la producción de la sala de cocción. Básicamente, los tanques cilindrocónicos deberían recibir sólo la producción de medio día como máximo (únicamente en casos excepcionales, una producción de día entero). Hay varios motivos para ello:

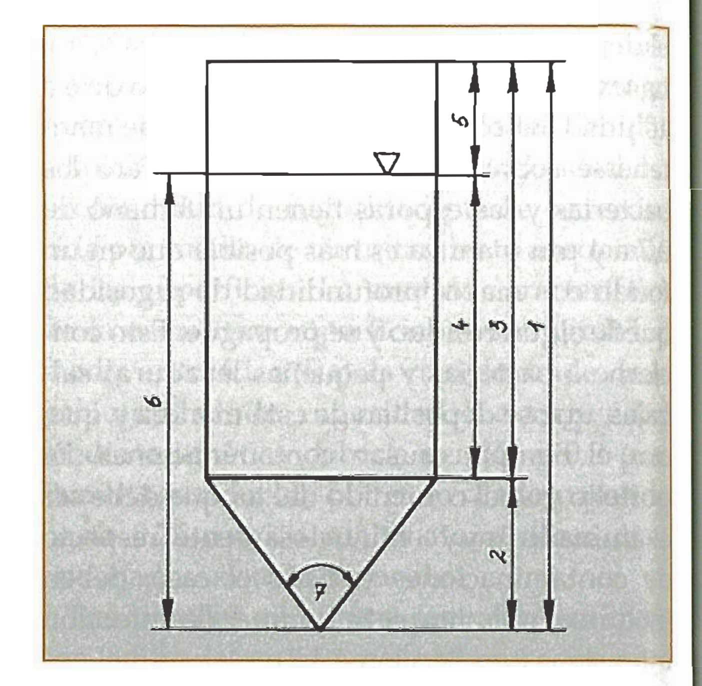


Figura 4.27
Tanque de fermentación cilindrocónico como cilindro y cono
(1) altura total, (2) altura del cono, (3) altura del cilindro, (4) altura del mosto en el cilindro, (5) altura de ascenso de espuma, (6) altura total de mosto, (7) ángulo interior del cono

- Si el tanque es más grande, el llenado dura demasiado: el primer cocimiento ya esta avanzado en el inicio de la fermentación.
- Si la fermentación del último cocimiento es iniciada sin levadura, el mosto permanece durante un largo tiempo sin levadura, dado que el contenido del tanque no se mezcla. Esto estimula la propagación de contaminantes.
- Los tanques muy grandes tienen prolongados tiempos improductivos, que son necesarios para vaciado, limpieza y rellenado.
- Los tanques grandes sólo son apropiados para variedades principales de cerveza.
- La carga pico del suministro de refrigeración es mayor en tanques grandes que en varios tanques pequeños.

Pero en muy pocos casos las fábricas de cerveza pueden orientarse en sus decisiones de

...versión sobre la base de las necesidades tecnológicas u operacionales. Las posibilidades de transporte de los grandes recipientes determinan frecuentemente el diámetro y la altura.

4.4.1.2.4 Espacio para ascenso de la capa de espuma

Por supuesto que los tanques de fermentación cilindrocónicos no pueden ser llenados completamente para la fermentación, dado que también aquí, debido a la fuerza ascendente del CO_2, se forma una capa de espuma, cuyo volumen es nada despreciable y la cual, en caso extremo, puede salir por las tuberías de gas y causar un aglutinamiento en las válvulas de seguridad. Esto es muy peligroso, dado que el mosto aglutinado puede bloquear las válvulas de manera tal que ya no operen más.

Básicamente vale por ello que el volumen de espacio vacío en los tanques de fermentación es 18 a 25% de la cantidad de mosto al inicio de fermentación.

En nuestro ejemplo anterior se agrega al volumen de mosto de 969 hl todavía un 25% más como volumen de espacio vacío. ¿Cuánto debe ser entonces la altura total de este tanque de fermentación cilindrocónico (TFCC)?

volumen de mosto	=	$96{,}9\ m^3$
+ 25%	=	$24{,}2\ m^3$
volumen del TFCC	=	$121{,}1\ m^3$

La altura del espacio para ascenso se obtiene por cálculo de

volumen de espacio para ascenso (= v.e.a.) $= r^2 \cdot \pi \cdot h$ de espacio para ascenso

$$h \text{ de espacio para ascenso} = \frac{\text{v.e.a.}}{r^2 \cdot \pi} = \frac{24{,}2\ m^3}{13{,}8\ m^2} = 1{,}75\ m$$

De acuerdo con esto, la altura total del TFCC debe ser:

altura de mosto + h de espacio para ascenso = altura total de TFCC

9,40 + 1,75 = 11,15 m

El tanque de fermentación cilindrocónico debería tener una altura total de 11,15 m.

Los tanques de fermentación de cerveza de trigo son llenados solamente en un 50%, debido a la fuerte formación de espuma. El espacio para ascenso debería ser 40%, por lo menos.

Los tanques de reposo requieren de un menor espacio para ascenso, el cual depende, sin embargo, de lo que aún sucede en el tanque de reposo:

- si se reposa únicamente en frío, 5- 8%;
- si aún ocurre una degradación de diacetilo, 10-12%;
- si se trabaja con adición de Krausen, 25%.

4.4.1.3 Instalación y disposición de los tanques cilindrocónicos

Dado que los tanques cilindrocónicos son recipientes muy superiores, se los instalaba primero sólo exteriormente, al aire libre; se los aislaba adecuadamente y se los preservaba de la intemperie. Posteriormente, se pasó a cubrirlos cada vez más (instalación interior). Ambas variantes con subvariantes también hoy en día son todavía usuales (Figura 4.28).

La instalación al aire libre (a) está muy difundida y requiere la aislación térmica para tanques individuales. La instalación se realiza:

- con un anillo de apoyo sobre bastidor, en un entretecho,
- con una pollera sobre la fundación o
- sobre varios soportes.

En la instalación con pollera, el área de mando se ubica junto a esta última o se utiliza directamente el espacio de la pollera como área de mando. En los otros casos, el cono se encuentra dentro del área de mando, salvo que ésta haya sido desplazada a un edificio vecino.

La instalación interior puede tener diferentes motivos:

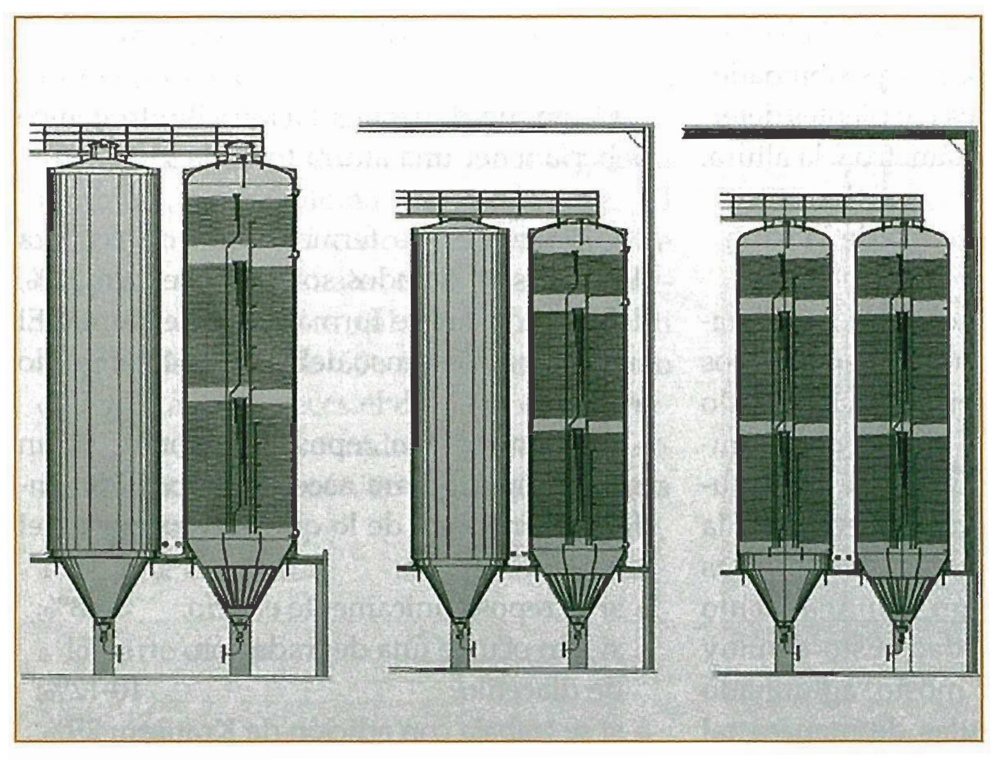


Figura 4.28
Disposición de los tanques cilindrocónicos
a) disposición al aire libre con área de mando cerrada;
b) tanques cubiertos (instalación interna) en edificio sin aislación; para ello, los tanques deben ser aislados y refrigerados individualmente;
c) tanques cubiertos - sin aislación, en edificio con aislación.

- se desea una cubierta, para tener una mejor vista,
- hay que cumplir con ello requisitos oficiales o
- se quiere lograr una aislación térmica completa o parcial de los tanques.

La decisión sobre qué variante debe ser elegida sólo puede ser tomada luego de sopesar inteligentemente todos los argumentos a considerar.

Las ventajas de la instalación al aire libre son:

- la posibilidad de regular en forma individual la temperatura de cada tanque;
- no es posible una influencia recíproca de temperatura entre los tanques.

Las desventajas son:

- la necesaria aislación térmica substancialmente más grande alrededor de cada tanque;
- la superficie más grande causa mayores pérdidas de energía.

En los tanques instalados interiormente se producen costos considerables para:

- la estructura de acero y la cubierta de construcción, así como
- para la forma superficial.

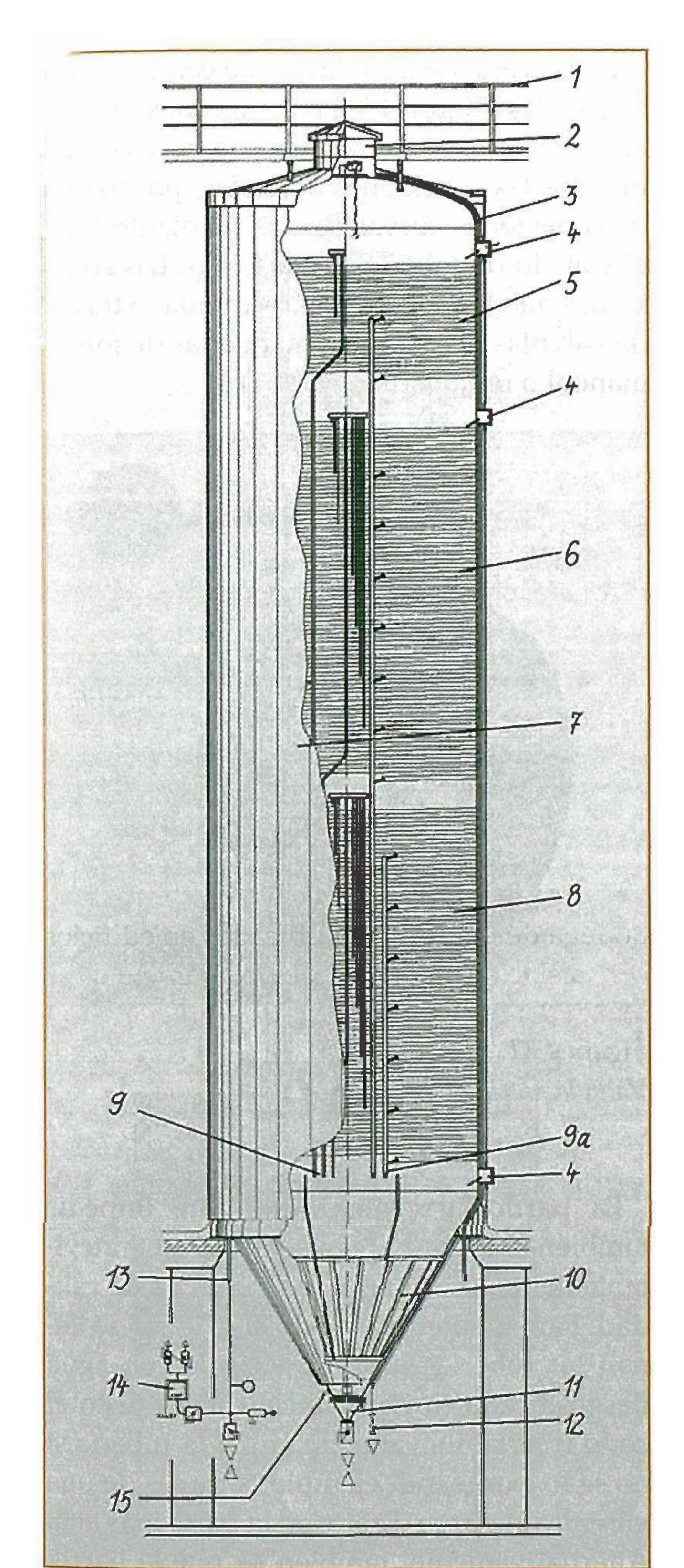
Por otro lado, en el caso de secciones de bodega de maduración ubicadas en edificios con aislación y refrigeración ambiental, se ahorra en energía para la refrigeración individual de los tanques de reposo cilindrocónicos.

4.4.2 Equipamiento de los tanques cilindrocónicos

El equipamiento de los tanques cilindrocónicos incluye, en especial,

- elementos de control y de mando, así como válvulas de seguridad,
- equipos para la refrigeración de los tanques y
- equipos para el control y la automatización de la fermentación.

La Figura 4.29 indica el alcance del equipamiento necesario, el cual se describe a continuación.



4.4.2.1 Elementos de control y de mando y válvulas de seguridad

Para el mando, el control y la necesaria seguridad, se requieren los siguientes elementos:

- dispositivos para el llenado y vaciado de los tanques cilindrocónicos,
- válvulas de seguridad,
- instrumentos de control y
- un equipo para CIP.

4.4.2.1.1 Equipamiento para el llenado y vaciado de los tanques cilindrocónicos

Los tanques cilindrocónicos siempre son llenados desde abajo y vaciados hacia abajo. Esto es necesario, porque es

- considerablemente más sencillo y
- un llenado desde arriba traería aparejado un ingreso indeseado de oxígeno en la cerveza.

Pero el llenado desde abajo y el vaciado hacia abajo requieren que el tanque cilindrocónico sea conectado a varias tuberías:

- una tubería de suministro de mosto,
- una tubería de descarga de la levadura de cosecha,
- una tubería de descarga para la cerveza y
- una tubería de suministro y de descarga de los líquidos para CIP.

Es importante para ello que estas conexiones sean realizadas libres de contaminaciones y sin ingreso de oxígeno.

Figura 4.29
Tanque cilindrocónico (aislación parcialmente corrida)

(1) tarima de mando, (2) domo de tanque con válvulas, (3) tubos de cableado y tubo de desagüe, tendidos dentro de la aislación, (4) conexión de termómetro, (5) zona más pequeña de refrigeración para reposo, (6+8) zonas de refrigeración para la fermentación, (7) aislación, (9) conexiones para la tubería de suministro del amoníaco líquido, con válvulas, (9a) tubería de salida del amoníaco evaporado, (10) zona de refrigeración del cono, (11) conexión del cono con cierre de entrada de hombre DN 450, (12) grifo de muestras, (13) tubería de suministro y descarga al domo (CO_2, aire, CIP), tendida dentro de la aislación, (14) aparato de ajuste de contrapresión, (15) medición de contenido, sonda de aviso de estado vacío

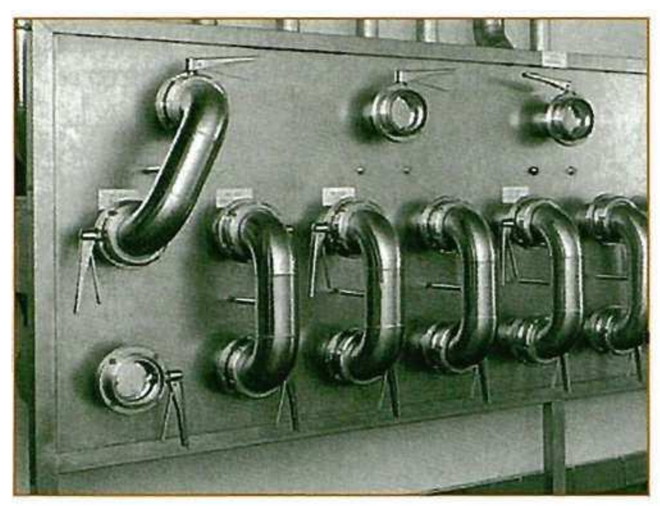


Figura 4.30
Panel de distribución con conexiones curvas

Si se utilizan mangueras, no se puede lograr a la larga un trabajo libre de contaminaciones, porque la superficie interior de las mangueras se encuentra generalmente en un estado considerablemente peor de lo que permite presumir el aspecto exterior. Las mangueras requieren un manipuleo muy cuidadoso y un mantenimiento esmerado (ver Sección 6.1.3).

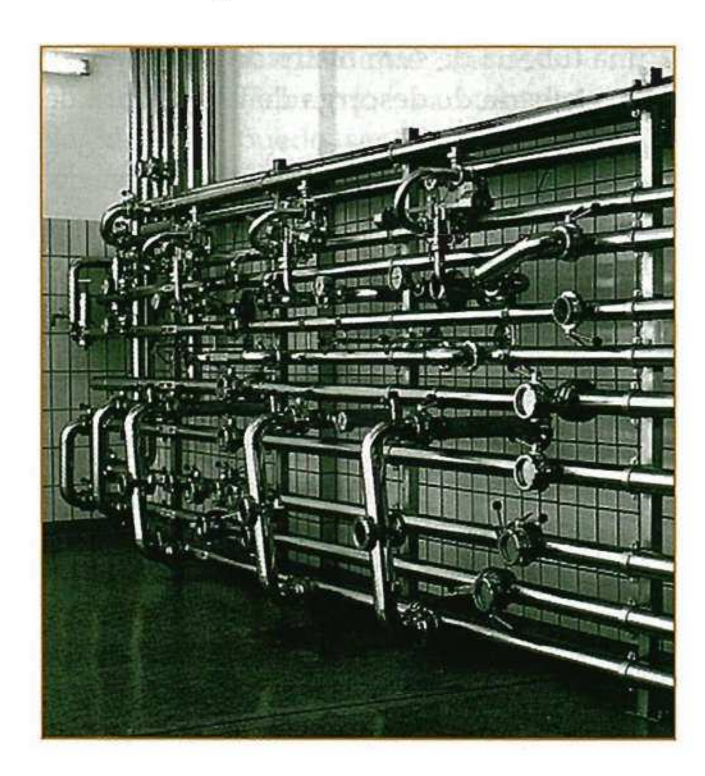


Figura 4.30a
Conexiones curvas en un vallado de tubos

La mayoría de las fábricas de cerveza utiliza paneles (Figura 4.30) para la conexión, con los cuales se pueden realizar con pocos movimientos las conexiones deseadas, por medio de conexiones curvas (codos pivotantes), en el vallado de tubos (Figura 4.30a). Las conexiones pueden ser abiertas o cerradas a través de válvulas mariposa, comandadas de forma manual o remota (Figura 4.31).



Figura 4.31
Válvula mariposa

Es particularmente importante impedir también el ingreso de oxígeno, el cual inevitablemente trae aparejadas pérdidas de calidad. Para mantener alejado el oxígeno se llenan las tuberías hasta la válvula con agua desgasificada (mezcla inicial). Pero justo el codo traería nuevamente aire a la tubería si no se lo extrae, por ejemplo, a través de una válvula de purga de aire en la parte más alta. Alternativamente, también se puede barrer las tuberías y válvulas de forma efectiva con CO_2. El CO_2 desplaza totalmente el aire.

En el caso de instalaciones de mayor tamaño se conecta a veces toda la instalación en forma permanente por medio de tubos y se la opera a distancia a través de válvulas ope-

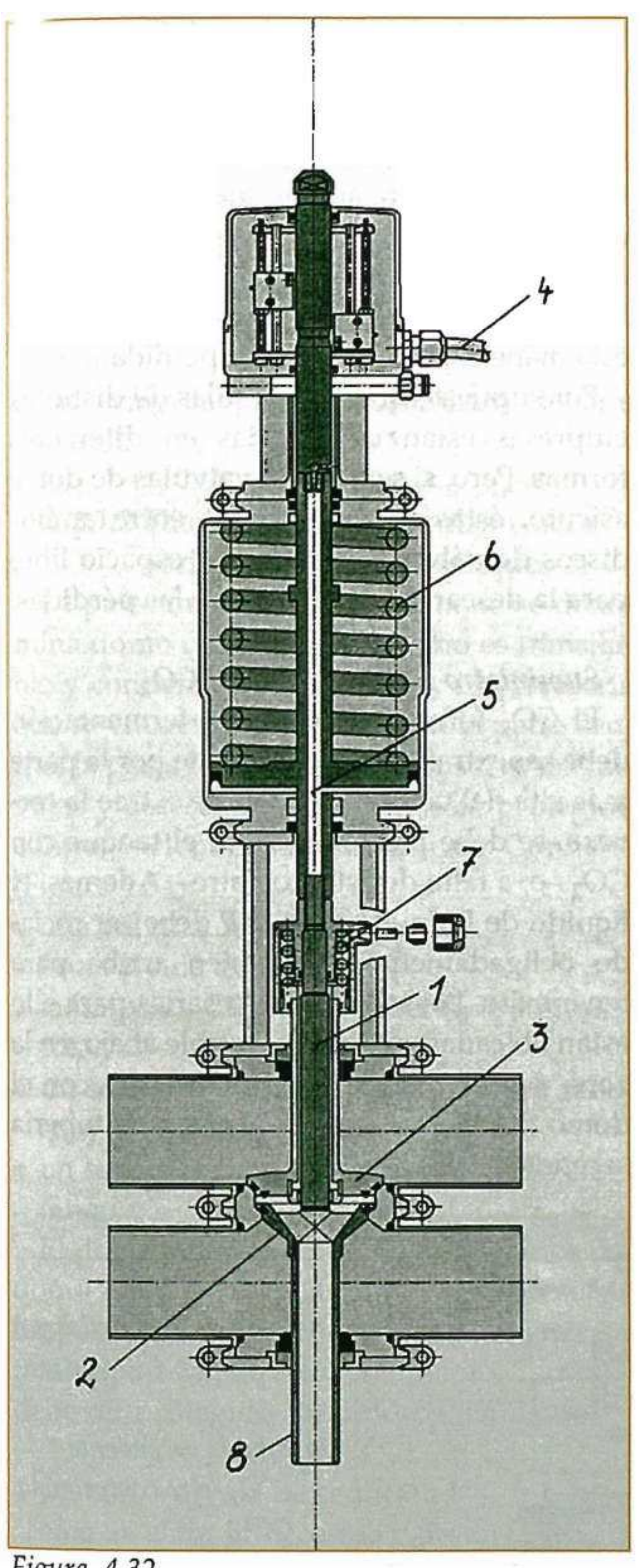


Figura 4.32
Válvula de doble asiento
(1) vástago de válvula, (2) disco de válvula inferior, (3) disco de válvula superior, (4) suministro de aire comprimido, (5) entrada de aire comprimido por debajo del pistón, (6) resorte de compresión, (7) resorte de compresión pequeño, (8) tubo de pérdidas

radas por control remoto. Si bien esto encarece substancialmente la instalación, se requiere menos personal de operación. Estas válvulas

- están colocadas en cada tanque (conexión individual) o
- están reunidas en un "nudo de válvulas" para todos los tanques. En el segundo caso se habla de una conexión en grupo.

En este tipo de instalaciones hay una gran cantidad de válvulas en un espacio muy pequeño. Pero con el tiempo las válvulas pueden tener fugas. El daño puede ser grande, por ejemplo, si llegara lejía de limpieza a la cerveza. Por ello se hace todo lo posible para limitar tal caso de daño, empleando válvulas con "indicación de pérdidas".

Válvulas con indicación de pérdidas

A través de válvulas, se abren o se cierran las conexiones entre las tuberías. A los efectos de tener una mayor seguridad, se deben utilizar válvulas de doble asiento con indicación de pérdidas para el caso de pérdida de estanqueidad de una válvula.

Una válvula tal, de doble asiento, opera del siguiente modo (Figura 4.32):

Un resorte fuerte (6) presiona hacia abajo el disco de válvula inferior (2), a través del vástago de válvula (1) fijado a aquel, y forma un sello. El disco de válvula superior también es presionado por el resorte (6), pero puede ser desplazado en una pequeña parte por el resorte (7) frente al disco de válvula inferior. El espacio entre los discos de válvula está abierto hacia la atmósfera a través del tubo de pérdidas (8). Éste es limpiado por medio de una conexión de CIP separada (9).

Cuando se recibe el mando de apertura de la válvula, se introduce, a través de (4), aire comprimido, que fluye por dentro del vástago de válvula (5) hacia abajo, hasta alcanzar la parte inferior del pistón, al que levanta en contra de la presión del resorte. Con el pistón sube la válvula de doble asiento, donde el

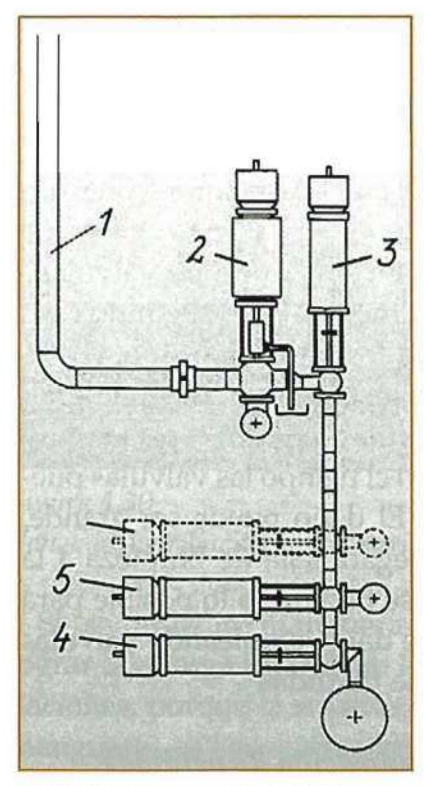


Figura 4.33
Estación de válvulas para gases

(1) tubería ascendente;(2) válvula para CIP; (3) válvula reguladora de presión de gas; (4) válvula de extracción de CO_2; (5) válvula de suministro de CO_2; (6) válvula de suministro de aire estéril

disco inferior levanta al superior, sellando a ambos entre sí.

Al realizar el cierre, se descarga el aire comprimido y con ello aumenta nuevamente la presión del resorte. Ésta presiona nuevamente hacia abajo el pistón y éste, el disco de válvula inferior (2) a través del vástago de válvula (1). En esto, cierra primeramente el disco de válvula superior y luego el disco de válvula inferior. Pero entre ambos queda un pequeño espacio: si una válvula tiene una fuga, el líquido puede fluir sin obstáculos hacia abajo y hacia afuera a través del tubito abierto (8): de esta manera se hace visible la pérdida.

Por supuesto que las válvulas de distintas empresas están construidas en diferentes formas. Pero, si se trata de válvulas de doble asiento, éstas tienen siempre entre ambos discos de válvula un pequeño espacio libre para la descarga sin presión de las pérdidas.

Suministro y extracción del CO_2

El CO_2 formado durante la fermentación debe ser extraído obligadamente por la parte más alta del tanque. Cuando se extrae la cerveza, se debe presionar sobre el tanque con CO_2 –o, a falta de éste, con aire–. Además, el líquido de limpieza para CIP debe ser rociado obligadamente desde bien arriba para tener éxito. Las válvulas necesarias para ello están ubicadas en forma accesible abajo, en la zona de válvulas, y están conectadas con el domo del tanque por medio de una tubería ascendente (Figura 4.33).

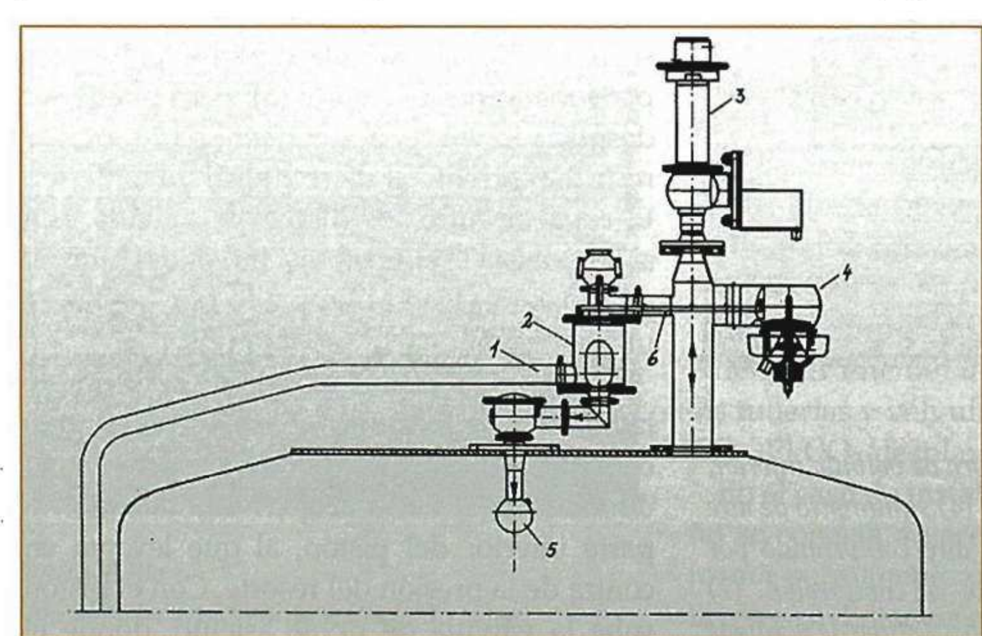


Figura 4.34
Dispositivo de válvulas y accesorios del domo de tanque
(1) tubería ascendente (CO_2, aire comprimido, CIP),
(2) dispositivo separador líquido/gas,
(3) válvula de seguridad,
(4) válvula de vacío,
(5) cabezal rociador,
(6) limpieza CIP de válvulas y accesorios

A esta estación de válvulas pertenecen:

- una válvula para el suministro de los líquidos para CIP,
- una válvula reguladora de presión de gas (intercalada atrás),
- una válvula para la extracción de CO_2,
- una válvula para el suministro de CO_2 durante la extracción de cerveza y eventualmente,
- una válvula para el suministro de aire estéril.

4.4.2.1.2 Dispositivo de válvulas y accesorios del domo de tanque

La parte más elevada del tanque se denomina domo del tanque. El domo es transitable y contiene los accesorios y la valvulería que se encuentran ubicados en la parte central, la placa del domo. El dispositivo de válvulas y accesorios del domo está protegido contra inclemencias climáticas. Contiene (Figura 4.34):

- una válvula de seguridad,
- una válvula de vacío y
- la limpieza CIP con la tubería de suministro,
- un sensor para nivel (seguro contra rebose) y
- un sensor de presión para la presión en el tanque.

El dispositivo de válvulas y accesorios del domo debe estar incluido en el proceso de limpieza CIP a los efectos de mantener su total capacidad de funcionamiento. También debe ser protegido contra congelamiento.

4.4.2.1.2.1 Válvula de seguridad

Nos es clara la necesidad de una válvula de seguridad, dado que ya hemos visto en la bodega de maduración convencional qué fuerzas impresionantes aparecen al aumentar la presión en el interior del tanque. El peligro es correspondientemente mayor en los grandes tanques cilindrocónicos, en especial cuando el establecimiento de pre-

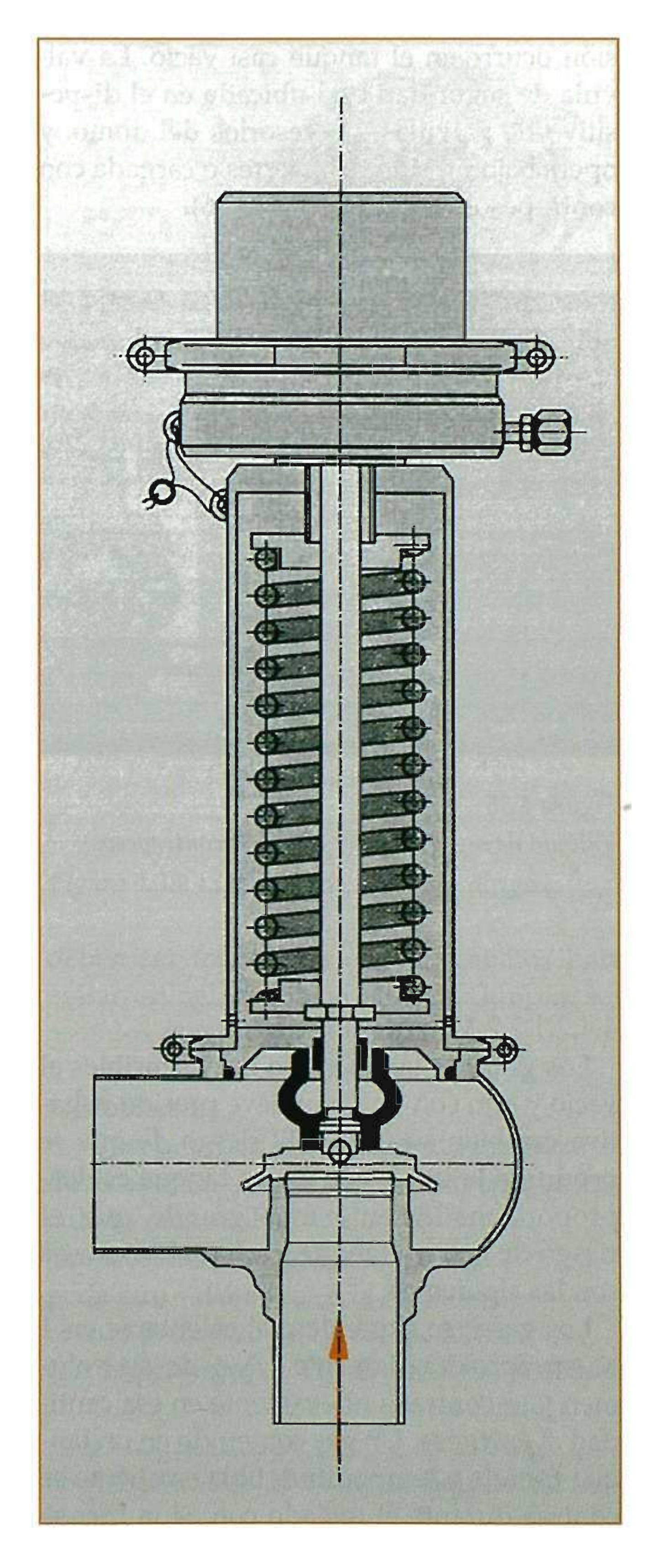


Figura 4.35
Válvula de seguridad, bajo presión de resorte, con dispositivo de elevación de disco de válvula

sión ocurre en el tanque casi vacío. La válvula de seguridad está ubicada en el dispositivo de válvulas y accesorios del domo, y opera bajo presión de resortes o cargada con contrapesos (Figuras 4.35 y 4.36).

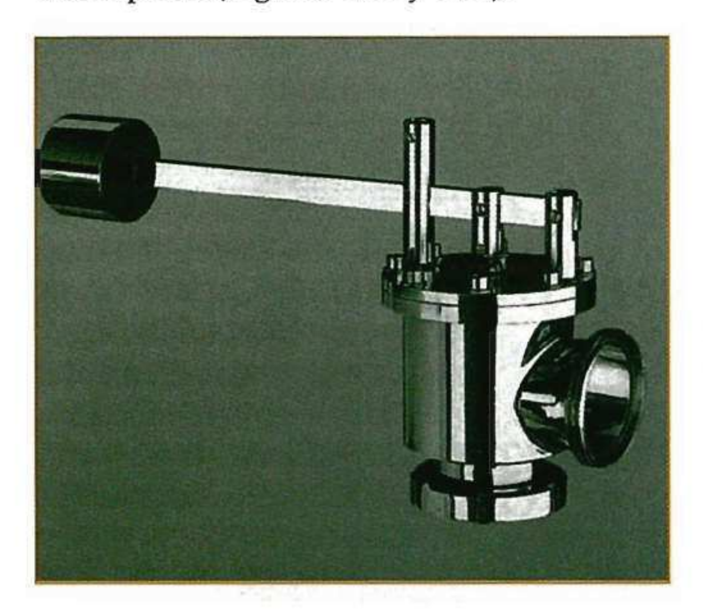


Figura 4.36
Válvula de seguridad, cargada con contrapesos

4.4.2.1.2.2 Válvula de vacío

Los grandes tanques son muy sensibles al vacío y aun con una muy leve presión negativa cambian su forma. El riesgo de que se produzca la implosión de un tanque es desproporcionadamente más grande que el riesgo de que un tanque explote. Las causas son las siguientes:

Los gases se expanden, al calentarse en 1 K, en aproximadamente $^{1}/_{273}$ de su volumen y se contraen nuevamente en esa cantidad al enfriarse. Un gas contenido en un tanque tratado a temperatura tibia o caliente se contrae durante el rociado con agua fría; se produce así una presión negativa que puede contraer las paredes del tanque.

Es especialmente peligroso, si se trabaja en el tanque con elevadas temperaturas, porque entonces se forma progresivamente vapor de agua. Pero, al enfriarse, el vapor de agua no sólo se contrae, sino que además se condensa, por lo cual el volumen disminuye de forma abrupta.

Debe tenerse en cuenta que, a presión normal, 1 m^3 de vapor pesa 560 g, pero 1 m^3 de agua pesa 1000 kg (= 1 t). Cuando el vapor se condensa, se contrae nuevamente a la (1000:0,56) = 1786ava parte de su volumen previo. ¡Esto puede causar problemas!

Por este motivo, la mayoría de las fábricas de cerveza trata sus tanques cilindrocónicos con soluciones de limpieza a temperaturas no mayores que 35°C.

Si aún así se desea trabajar con temperaturas más elevadas, es recomendable no aliviar la mayor presión formada durante el calentamiento, sino reducir esa presión durante el enfriamiento y con ello impedir una formación de vacío.

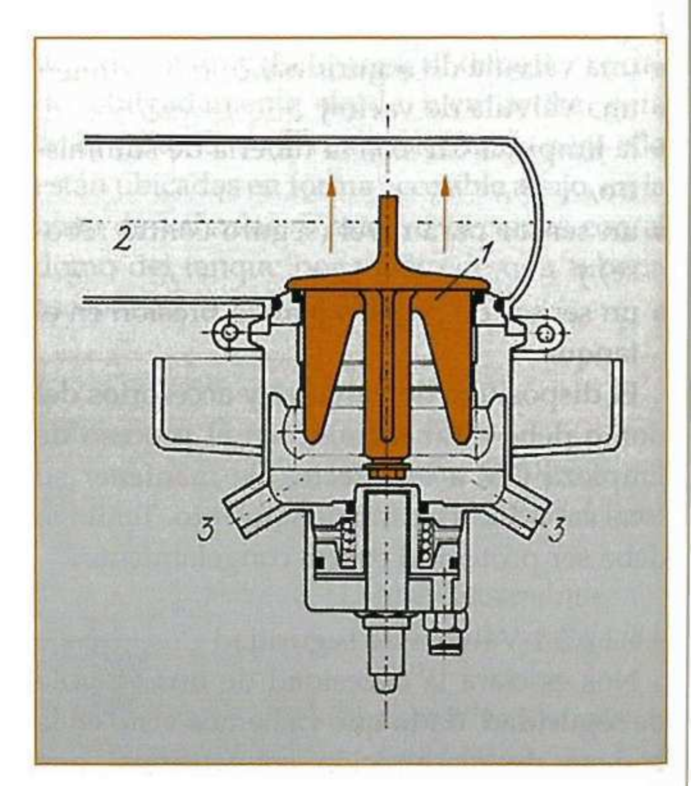


Figura 4.37
Válvula de vacío
(1) disco de válvula; asienta únicamente por peso propio, (2) conexión al interior del tanque, (3) entrada de aire exterior, drenaje de pérdidas

Las válvulas de vacío deben reaccionar fácilmente en forma confiable (Figura 4.37).

A presión normal o sobrepresión, la tapa cierra la abertura por peso propio. En el caso de producirse una presión negativa, se levanta el disco de válvula relativamente grande y se aspira aire externo.

Se debe impedir que se produzca un aglutinamiento o un congelamiento. Por ello, la válvula de vacío se encuentra conectada a la limpieza CIP y también debe ser abierta durante la limpieza.

La válvula de vacío está ubicada en el dispositivo de válvulas y accesorios del domo.

4.4.2.1.2.3 Dispositivo de limpieza CIP (cleaning in place)

Los tanques cilindrocónicos, naturalmente, sólo pueden ser limpiados por chorro en un proceso CIP. El dispositivo de limpieza (cabezal rociador, limpiador de inyección dirigida) está conectado con el dispositivo de válvulas y accesorios del domo y dimensionado de manera tal que la película de líquido que fluye hacia abajo sea continua en toda su longitud y también limpie adecuadamente el cono.

Para ello circulan por bombeo aproximadamente 30 hl de líquido de limpieza por cada 1 hora y por cada 1 m de perímetro de tanque.

Los cabezales rociadores usuales no son adecuados para los tanques más grandes; en estos casos se utilizan limpiadores especiales de inyección dirigida (Figura 4.38).

Dado que el suministro del líquido de limpieza CIP y el suministro y la descarga de los gases son realizados a través de la misma tubería ascendente, debe ocurrir una separación en una fase líquida y una fase gaseosa, a través de un separador correspondiente, en el dispositivo de válvulas y accesorios del domo.

Durante la limpieza del dispositivo de válvulas y accesorios del domo, las válvulas deben ser levantadas de sus asientos para evitar un aglutinamiento y para limpiar los asientos de válvula.

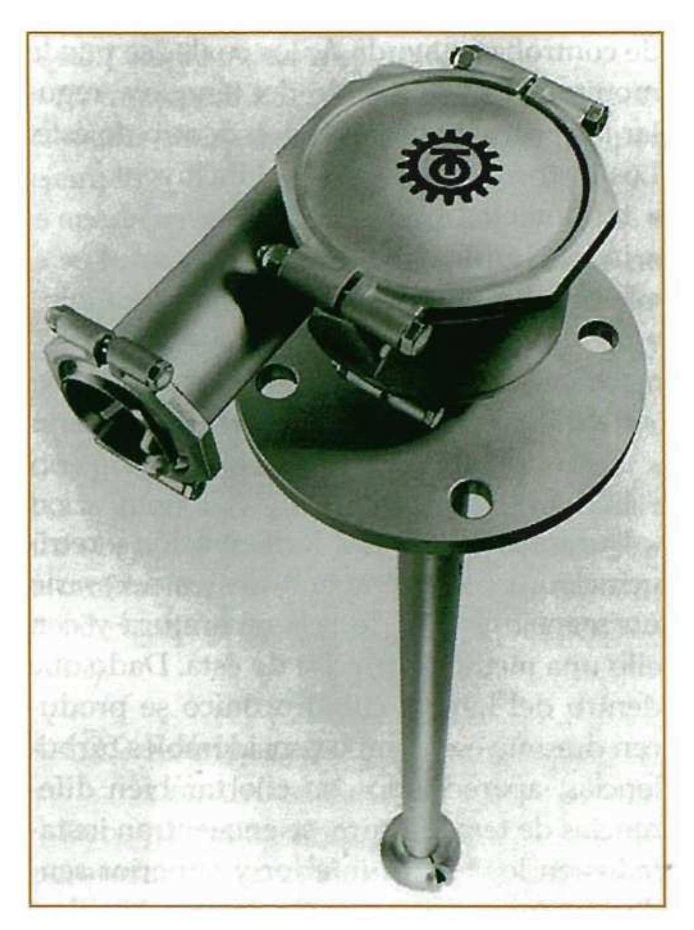


Figura 4.38: Limpiador de inyección dirigida

Problema:

¿Qué cantidad de líquido de limpieza se debe usar en el caso de nuestro tanque calculado más arriba?

diámetro del tanque: 4,20 m

perímetro = diámetro · 3,14 = 13,2 m

con un perímetro de 1,2 m = 30 hl/h

con un perímetro de 13,2 m = 13,2 · 30 = 396 hl/h

:60 = 6,6 hl/min

:60 = 11 l/seg

Se deben rociar 11 l/seg de líquido de limpieza.

4.4.2.1.3 Instrumentos de control

El contenido de los tanques cilindrocónicos no es accesible para el cervecero. Son por lo tanto más importantes los instrumentos

de control, con ayuda de los cuales se puede monitorear el contenido del tanque y regular los procesos que suceden dentro de éste. Los instrumentos de control incluyen:

- termómetro,
- indicador de nivel,
- indicador de presión,
- sondas de máximo y mínimo, así como
- posibilidad de tomar muestras del contenido del tanque.

4

4.4.2.1.3.1 Termómetro

Durantes las fases de fermentación y refrigeración a bajas temperaturas es necesario un manejo exacto de la temperatura y con ello una medición precisa de ésta. Dado que dentro del tanque cilindrocónico se producen durante ese tiempo considerables turbulencias, apareciendo con ello también diferencias de temperatura, se encuentran instalados en los tercios inferior y superior sendos termómetros, que transmiten regularmente los valores medidos.

4.4.2.1.3.2 Indicación de nivel

Es muy importante controlar en el tanque el nivel de llenado, el cual es medido y transmitido a través de sensores de presión, que registran la presión hidrostática. En los equipos modernos se indica, simultáneamente con el nivel de llenado, la cantidad de llenado.

La medición de nivel de llenado es posible por medio de:

- medición de diferencial de presión (fase gaseosa/presión sobre el fondo),
- sensores por ultrasonido (de montaje exterior),
- aplicación del principio de ecosondeo (poco usual en tanques cilindrocónicos),
- medición de la cantidad ingresante a través de un caudalímetro magneto-inductivo,
- piezocaptador (ubicado debajo del pie, en el caso de tanques cilindrocónicos pequeños)

4.4.2.1.3.3 Indicador de presión

Debe controlarse la presión en el tanque cilindrocónico durante la fermentación bajo presión y durante el reposo. Esto es especialmente importante cuando no se alcanza la presión prevista o sólo se la alcanza de forma retardada. La válvula de seguridad (ver más arriba) o un interruptor de valor límite protegen contra un aumento de presión por encima del valor prefijado.

4.4.2.1.3.4 Sondas de mínimo y máximo

Los tanques cilindrocónicos están equipados con sendas sondas de mínimo y máximo, que detienen el flujo al alcanzarse la altura máxima de llenado permitida (seguro contra rebose) y al alcanzarse el vaciado total del tanque.

La importancia de estas sondas se explica de la siguiente manera: si no se detiene el suministro de líquido en la altura máxima permitida, no queda suficiente espacio libre para la capa de espuma. El resultado es que la espuma sale burbujeando, a través de la válvula del domo y la tubería ascendente, y ensucia toda la instalación. El daño sería enorme.

Por otro lado, si el tanque se vacía completamente, se aspiran vastas cantidades de aire, que ingresan detrás de la cerveza, por lo cual también se causa gran daño.

La sonda de aviso de vacío es también importante para el control de los procesos de CIP, sobre todo para la separación exacta de medios.

4.4.2.1.3.5 Toma de muestras

En los tanques cilindrocónicos, la toma de muestras se realiza a través de un dispositivo de toma de muestras, que forma un circuito con una pequeña bomba fija, a través del cual es posible realizar en todo momento una toma de muestras de levadura o de cerveza verde.

Hay tres posibilidades para la toma de muestras desde una tubería:

la muestra al azar; su toma se efectúa en cualquier instante y trasmite una reproducción del producto en el momento de ser tomada la muestra,

la muestra múltiple; las tomas se realizan en intervalos de ciclo predeterminados y proporcionan una información sobre un determinado período,

la muestra representativa promedio; para ello se establece previamente en el recipiente de muestra una presión equivalente a la de la tubería de producto y se la ajusta continuamente sobre la base de esta última. La toma de las muestras ocurre proporcionalmente a la velocidad de flujo, de manera que la muestra suministra una información cualitativa y cuantitativamente representativa sobre el producto y su composición (Figura 4.39).

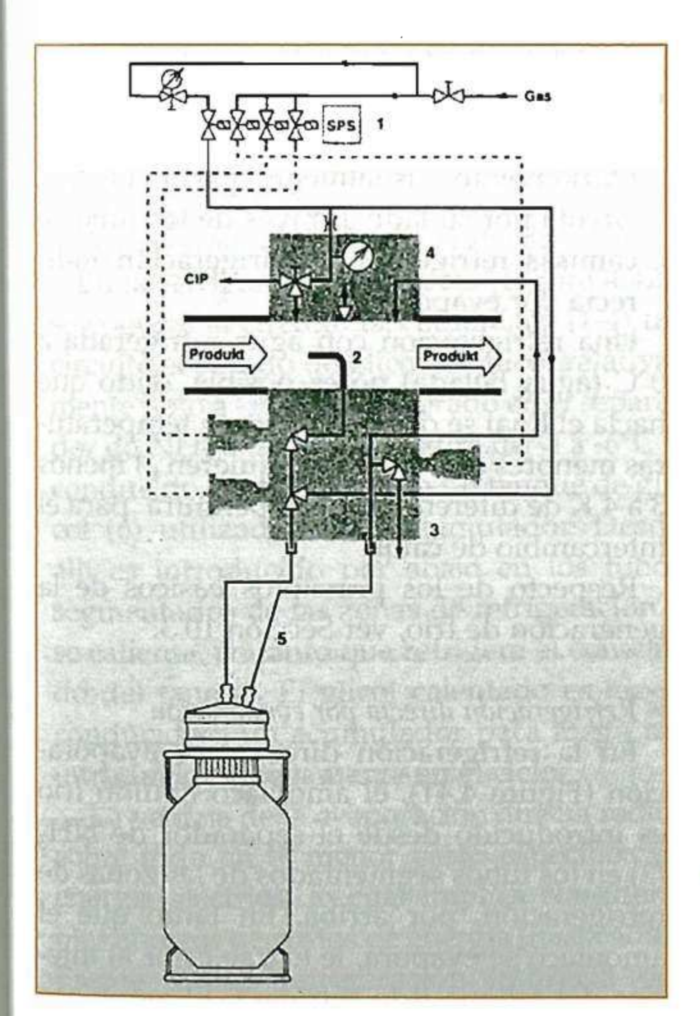


Figura 4.39: Dispositivo de toma de muestras

4.4.2.1.3.6 Bocas de inspección

El tanque cilindrocónico debe ser inspeccionado cada tanto para controlar si, por ejemplo:

- aparecieron fisuras o corrosión o
- se formaron zonas en las paredes que no fueron alcanzadas por el chorro, estableciéndose islas de residuos.

Para esto, cada tanque tiene arriba y abajo una boca de entrada de hombre, con cierre, de aproximadamente 50 cm de diámetro. La boca inferior (DN 450) consiste en la parte más baja del cono de salida y su tapa es desatornillable y pivotable. Para el tránsito dentro de tanques rige la ASI 2.40/91 (ver Sección 4.9.2).

4.4.2.2 Refrigeración de los tanques cilindrocónicos

Debe garantizarse que el curso de la temperatura en la cerveza en fermentación tenga un desarrollo óptimo. Es necesario para ello que los tanques sean provistos de una refrigeración apropiada. Las posibilidades y el alcance de la refrigeración resultan del requerimiento de frío.

4.4.2.2.1 Requerimiento de frío

Durante la fermentación se produce calor de proceso, que debe ser evacuado. Aparte de esto, la cerveza es refrigerada para la fase de reposo en frío a temperaturas de -1 a -2°C. Por ello, las cantidades de calor a ser evacuadas están compuestas por:

- el calor producido durante la fermentación (entalpía),
- la necesaria refrigeración de la cerveza para el reposo en frío (calor del líquido) y
- pérdidas debidas a irradiación de calor.

▸ ***Calor de fermentación***

La cantidad de calor producida durante la fermentación es:

587 kJ = 140 kcal = 0,16 kWh por cada 1 kg de extracto.

Con un contenido de mosto original de 11,5 a 12,0% y una V_s^{end} de 75 a 85% se obtienen cantidades de extracto fermentadas de 7,0 a 8,3 kg/hl. De esto resulta una formación de calor en kJ/hl

Mosto original	75%	80%	85%
	Grado de fermentación		
12,0%	4287	4573	4845
16,0%	5700	6086	

De acuerdo con esto, se puede calcular como valor medio para cerveza normal con 4.300 a 4.600 kJ/hl.

▶ *Calor del líquido*

Para un enfriamiento desde 9°C a -1°C (=10K) se requieren aproximadamente 4200 kJ/hl; es decir, que la cantidad necesaria para la refrigeración de la cerveza es aproximadamente igual a la cantidad necesaria para la evacuación del calor de fermentación.

▶ *Pérdidas de energía debidas a irradiación de calor*

Debido a la radiación y convección al ambiente, se producen pérdidas de calor. Las pérdidas se pueden minimizar hoy en día por medio de excelentes materiales de aislación térmica, por dimensionamiento de la aislación térmica alrededor de los tanques y por aislación de las cubiertas.

El requerimiento total de frío puede ser estimado por ello en 8600 a 9000 kJ/hl.

Sin embargo, esta cantidad de calor no se produce uniformemente ni tampoco debe ser evacuada uniformemente. El momento y el alcance de la evacuación de calor dependen

- del proceso de fermentación y maduración y
- del momento y la velocidad de refrigeración.

El mayor requerimiento de frío se produce durante la refrigeración de la cerveza, luego de la fermentación, en el término de 24 a 48 horas.

4.4.2.2.2 Posibilidades de la refrigeración

La generación de frío (= calor de baja temperatura) se realiza en la fábrica de cerveza casi exclusivamente con plantas compresoras frigoríficas (ver Sección 10.3.2); más esporádicamente, con plantas de absorción (ver Sección 10.3.3). Se evapora en esto amoníaco líquido comprimido. El amoníaco necesita energía térmica para la evaporación. Este calor es extraído por el amoníaco a su entorno, el que se enfría de esta manera. Existen en esto dos posibilidades para la refrigeración:

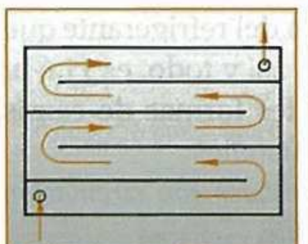
- el amoníaco es evaporado directamente en los tubos o camisas de refrigeración (refrigeración directa por evaporación) o
- el amoníaco es evaporado en un evaporador, refrigerando con ello un medio de enfriamiento, usualmente glicol, el cual circula por su lado a través de los tubos o camisas refrigerantes (refrigeración indirecta por evaporación).

Una refrigeración con agua refrigerada a 0°C (agua helada) no es posible, dado que hacia el final se debe refrigerar a temperaturas menores que 0°C y se requieren al menos 3 a 4 K de diferencia de temperatura para el intercambio de calor.

Respecto de los principios básicos de la generación de frío, ver Sección 10.3.

▶ *Refrigeración directa por evaporación*

En la refrigeración directa por evaporación (Figura 4.41), el amoníaco líquido frío es introducido desde el separador de NH_3 (3) en los tubos segmentados de las zonas de refrigeración, por arriba. En tanto que el amoníaco se evapora, le extrae calor al interior del tanque y lo refrigera. El amoníaco evaporado es conducido, a través del sepa-



igura 4.40
Tubos segmentados con circulación horizontal (refrigeración con glicol)

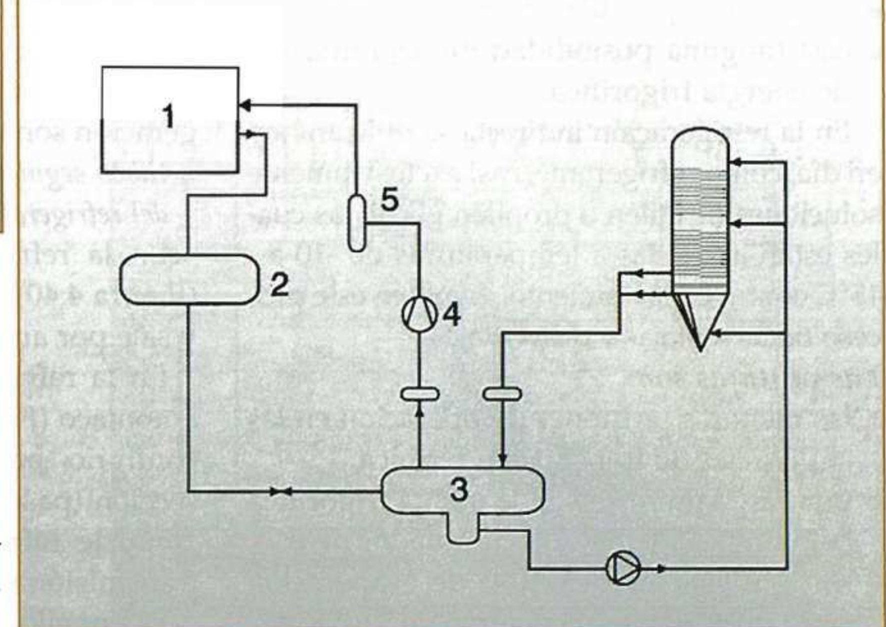


Figura 4.41 ▶
Refrigeración por medio de evaporación directa
(1) condensador evaporativo,
(2) acumulador de NH_3, (3) separador de NH_3, (4) compresor de NH_3,
(5) separador de aceite

rador (3) al compresor de NH_3 (4), y allí se lo comprime con aumento de temperatura. En el condensador evaporativo (1) se licua nuevamente el NH_3 caliente (35°C) por refrigeración y se lo suministra nuevamente al circuito a través del colector (2).

▶ *Refrigeración indirecta por medio de glicol*

En la refrigeración indirecta (Figura 4.42), se conecta al circuito del amoníaco (1-4) un circuito separado de glicol: el glicol relativamente tibio a -1°C es refrigerado en el separador de NH_3 a una temperatura de -4 a -6°C y conducido primeramente a un tanque de glicol (6) utilizado como acumulador. Desde allí es introducido por abajo en los tubos segmentados de las zonas de refrigeración y se calienta, en tanto que refrigera el contenido del tanque. El glicol calentado es luego conducido a un acumulador para luego ser introducido nuevamente en el ciclo.

La ventaja de la evaporación directa radica sobre todo en el menor gasto específico de energía eléctrica, lo cual implica considerables ahorros de costos de energía (hasta 40%). Frente a una refrigeración indirecta por medio de glicol, se tiene una serie de ventajas:

- se prescinde de la etapa de refrigeración del glicol,
- se puede trabajar con temperaturas de evaporación más altas (-4 bis -6°C) en lugar de -10°C,
- se requieren bombas considerablemente más pequeñas, porque hay menos por transportar,
- se requieren tuberías de suministro substancialmente más pequeñas,
- de ello resulta un gasto considerablemente menor de aislación y montaje,
- el control de la temperatura es más exacto y el sistema, más flexible.

Por otro lado, las desventajas son:

- mayores presiones de operación en los intercambiadores y con ello mayor gasto, las temperaturas de evaporación no son constantes,
- la instalación difícilmente puede ser operada en estado estacionario,
- se requieren mayores cantidades de refrigerante, las que necesitan aprobación en algunos países (Alemania: 3 t NH_3 requiere aprobación (4. BImSchV),
- el gasto relativamente grande en valvulería por motivos de seguridad,

- el riesgo de pérdidas de refrigerante,
- casi ninguna posibilidad de acumulación de energía frigorífica.

En la refrigeración indirecta se utilizan hoy en día, como refrigerante, casi exclusivamente soluciones de etilen o propilen glicol, las cuales están ajustadas a temperaturas de -10 a -15°C contra congelamiento. También este proceso tiene ventajas y desventajas.

Las ventajas son:

- las menores presiones de operación en las superficies de transmisión térmica,
- una carga uniforme de la planta frigorífica bajo utilización de un acumulador de frío,
- son posibles temperaturas de evaporación constantes, que se encuentran de 3 a 4 K por debajo del valor prefijado de temperatura,
- se requiere substancialmente menos amoníaco.

Las desventajas son:

- el requerimiento considerablemente mayor de energía de la planta frigorífica,
- las tuberías y bombas de mayor tamaño,
- la etapa necesaria de transformación para la refrigeración del glicol,
- el mayor gasto de aislación y montaje,
- el control de temperatura más dificultoso y
- la menor flexibilidad del sistema.

En lo esencial, las ventajas de la evaporación directa prevalecen, de manera que la mayoría prefiere esa solución.

4.4.2.2.3 Transmisión térmica

La transmisión térmica ocurre a través de

- tubos segmentados,
- tubos de perfil verticales o
- superficies de transmisión térmica especialmente diseñadas (Temp-plates, dimple jackets, Mueller plates).

Las superficies de transmisión térmica están diseñadas de manera tal que sea posible el máximo intercambio de calor con la menor superficie. Las superficies de transmisión térmica para la evaporación directa requieren inspección, dado que deben soportar la presión de parada del refrigerante que, en el caso del amoníaco, así y todo, es 11,6 bar.

Las siguientes formas de camisa de refrigeración son usuales:

- *tubos segmentados con circulación horizontal del refrigerante.*

En la refrigeración por medio de glicol (Figura 4.40), el refrigerante entra por abajo y sale por arriba.

En la refrigeración directa por medio de amoníaco (Figura 4.42), la entrada es, por el contrario, por arriba. Se unen aquí en una sección (paso) 4 a 6 vueltas de tubo de una zona de refrigeración para posibilitar una transmisión térmica más uniforme.

Es por ello deseable tener en los segmentos de refrigeración un volumen de NH_3 que sea lo más reducido posible, porque entonces

- la cantidad de NH_3 en la fábrica de cerveza puede ser en total menor,
- el equipo de separación puede ser más pequeño y
- la evaporación ulterior es menor.

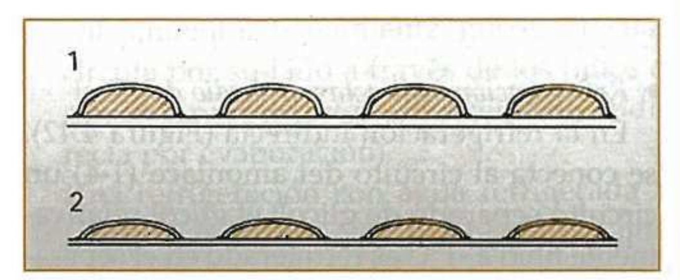


Figura 4.42a
Tubos segmentados de evaporador
(a) perfil antiguo, (b) perfil aplanado

En tanto que los tubos segmentados usuales tienen un volumen de NH_3 de 12 a 15 l/m^2 (Figura 4.42a, 1), los tubos más modernos ya sólo tienen un volumen de 4,5 l/m^2 (2).

Para los evaporadores nuevos de perfil aplanado horizontal, inclusive, son suficientes 1,9 l/m^2.

En el evaporador de tubos de perfil verticales (Figura 4.41), el amoníaco se evapora mientras fluye hacia abajo. Este tipo de eva-

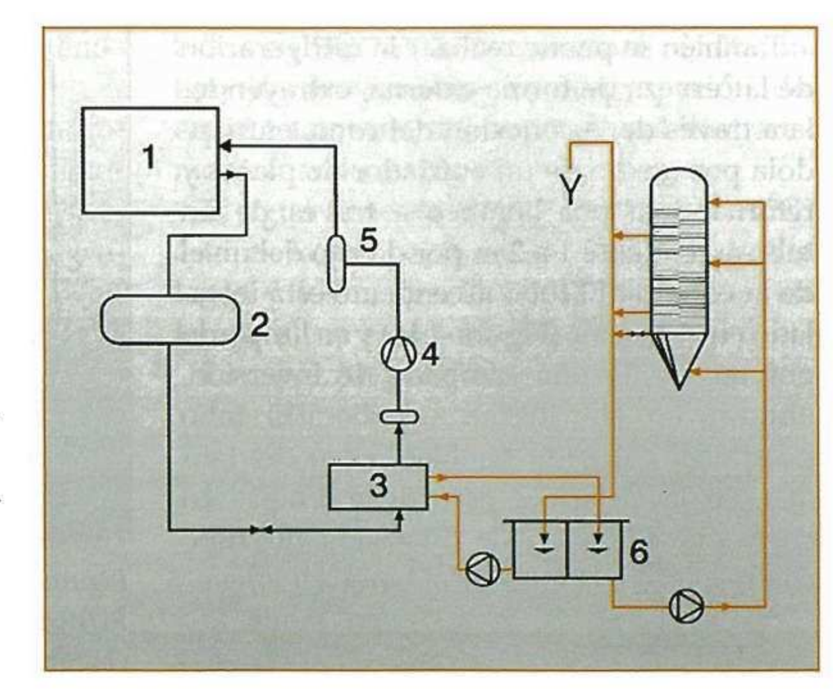


Figura 4.42
Refrigeración indirecta por medio de glicol
(1) condensador evaporativo, (2) acumulador de NH_3, (3) refrigerador de NH_3, (4) compresor de NH_3, (5) separador de aceite, (6) tanque de glicol, (en rojo) circuito de glicol

4

poración no se encuentra tan frecuentemente, ni tampoco se deja regular tan bien como la evaporación en tubos de evaporadores horizontales.

Con las denominaciones "Temp-plates", "Mueller plates", "Dimple jackets" u otras, se fabrican intercambiadores de calor para tanques, que están formados por chapas soldadas por puntos, que están distanciados uniformemente entre sí (Figura 4.43). Por medio de sobrepresión, se amplían los espacios entre ambas chapas de cubierta delgadas, ubicados entre los puntos de soldadura, obligando de esta manera al refrigerante a circular de forma turbulenta a través de la camisa refrigerante. De este modo se garantiza una buena transferencia térmica.

El gran requerimiento de frío se produce luego de la fermentación y la maduración cuando la cerveza es refrigerada rápidamente a la temperatura de reposo. La temperatura del refrigerante debe encontrarse en esto 3 a 4 K por debajo del valor prefijado de temperatura de la cerveza. Se calcula para esto con las siguientes superficies refrigerantes necesarias:

- para tanques de fermentación cilindrocónicos, con evaporación directa
  - 3,4 m^2 de superficie refrigerante/100 hl, a una temperatura de evaporación de 1°C
  - 1,6 m^2 de superficie refrigerante/100 hl, a una temperatura de evaporación de -4°C en el caso de refrigeración indirecta
  - 3,8 a 4,4 m^2 de superficie refrigerante/100 hl a +1°C de temperatura de salida
  - 1,7 a 1,8 m^2 de superficie refrigerante/100 hl a -4°C de temperatura de salida.
- para tanques de reposo cilindrocónicos
  - 0,9 m^2 de superficie refrigerante/100hl a -4°C de temperatura de salida.



Figura 4.43
Temp-plates o Dimple Jackets para refrigeración por evaporación de NH_3

También se puede realizar la refrigeración de la cerveza de forma externa, extrayéndola a través de la conexión del cono, enfriándola por medio de un enfriador de placas y retornándola por bombeo a través de un tubo ascendente 1 a 2 m por debajo del nivel de la cerveza. El tubo ascendente está instalado en el reactor (Figura 4.44) y es limpiado por medio de una campana de inversión, ubicada en el extremo superior. El tubo puede ser colocado también fuera del tanque, en la aislación, pero debe tenerse en cuenta la diferencia de dilatación del tubo con respecto a la entrada al tanque.

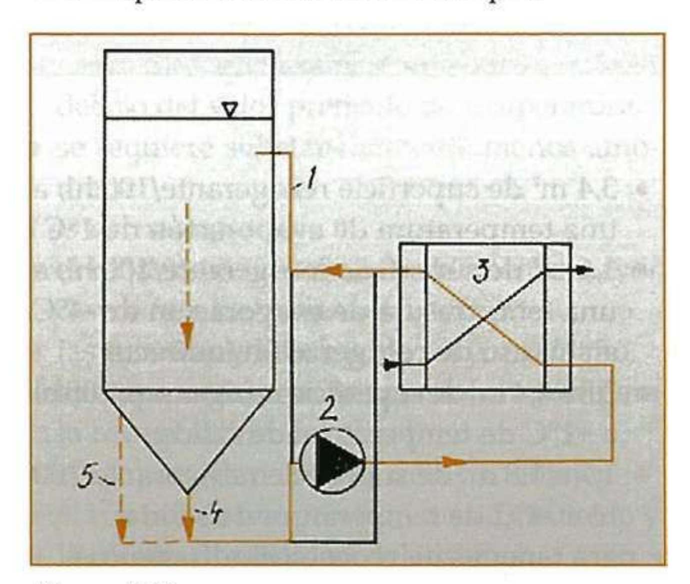


Figura 4.44
Tanque cilindrocónico (biorreactor) con refrigeración a través de intercambiador de calor de placas (1) tubería de ascenso, (2) bomba, (3) enfriador de placas, (4) conexión de extracción, (5) conexión del cono

De este modo se mantiene la levadura en suspensión y con ello en fermentación, y en el tanque se produce obligadamente un movimiento reagrupador del líquido. A fin de no afectar más tarde la sedimentación de la levadura, se extrae entonces la cerveza por bombeo desde la parte superior del cono (Figura 4.45). Esta forma de refrigeración es realizada exitosamente desde 1970.

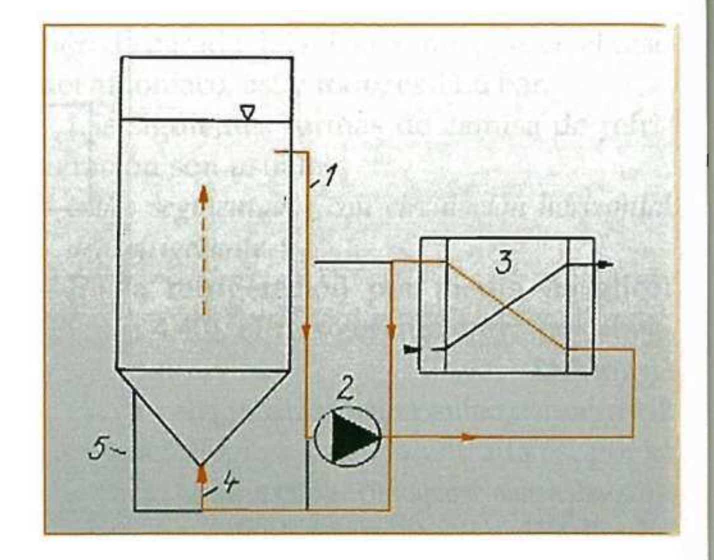


Figura 4.45
Refrigeración rápida en el tanque cilindrocónico (1) tubería de ascenso, (2) bomba, (3) intercambiador de calor de placas, (4) conexión de extracción, (5) conexión del cono

- Las ventajas de este tipo de refrigeración radican
- en los costos de instalación substancialmente menores:
  - las camisas de refrigeración constituyen aproximadamente 25 a 30% de los costos totales de un tanque cilindrocónico,
  - un circuito de intercambiador de calor de placas requiere comparativamente menores costos.

  En lugar del enfriador de placas se puede colocar también un evaporador tubular y lograr, a través de la evaporación directa del NH_3, la forma de refrigeración más económica.
- en una degradación más rápida de substancias, debido al movimiento permanente de la levadura. Debido al acortamiento del tiempo de fermentación y de maduración, los tanques pueden ser ocupados más frecuentemente.

Una desventaja es el mayor consumo eléctrico por el necesario accionamiento de las bombas. Sin embargo, es menor que el de la refrigeración indirecta por medio de camisa refrigeradora.

4.2.2.4 Reagrupación de las capas de temperatura y refrigeración

La temperatura dentro del tanque cilindrocónico no se encuentra uniformemente distribuida. En la fase de fermentación intensiva, ocurren considerables movimientos reagrupadores dentro del tanque –en especial debido al empuje vertical del CO_2–. Dado que la cerveza más caliente asciende, se logra en esta fase una buena refrigeración, particularmente desde arriba. Por lo tanto, se puede comprobar dentro del tanque una corriente de convección (inversión), por la cual la cerveza más fría se mueve hacia abajo, en tanto que la cerveza más caliente fluye por el medio hacia arriba (Figura 4.46, a).

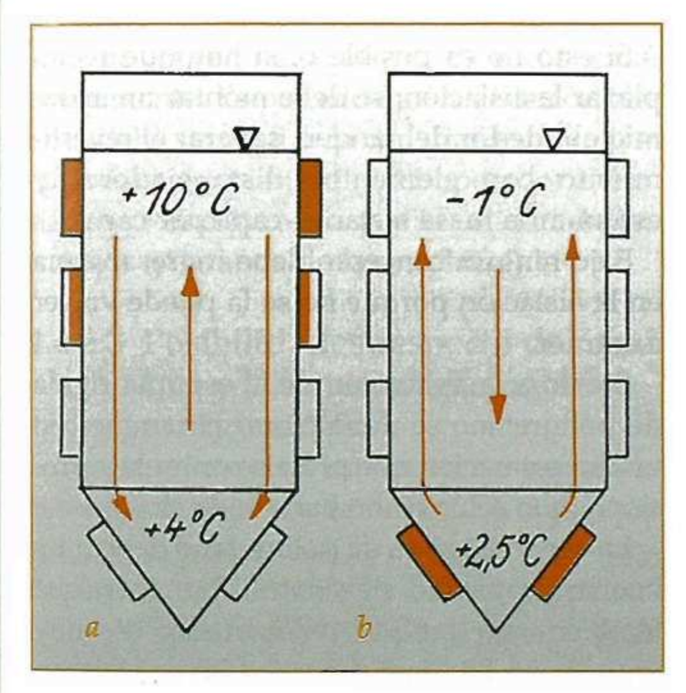


Figura 4.46
a) convección dentro del tanque cilindrocónico
b) reposo en frío de la cerveza

Independientemente del proceso de fermentación y maduración, se reduce finalmente la temperatura en la fase de reposo en frío a 0 a -2°C. Antes de filtrar la cerveza y proceder al llenado, se la mantiene a esa temperatura durante mínimamente una semana para la precipitación de las partículas de turbidez en frío. A esa temperatura resulta un tipo de movimiento de reagrupación de capas totalmente diferente, el cual ilustraremos tomando como referencia el agua:

El agua tiene su mayor densidad a +4°C; ésta es la temperatura en el fondo de los lagos y los mares. Tanto el agua a mayor temperatura como el hielo ascienden.

La cerveza normal tiene su mayor densidad a aproximadamente +2,5°C; las cervezas con mayor contenido de extracto, tales como las del tipo Bock, tienen su mayor densidad a aproximadamente +1°C; las cervezas con menor contenido de extracto, a +3°C.

Si ahora refrigeramos la cerveza a -1°C, sucede lo siguiente en nuestra cerveza normal: en la parte más baja, en el cono, se acumula la cerveza de mayor densidad a +2,5°C; hacia arriba, la cerveza es más y más fría, debido a la refrigeración, y hasta puede ocurrir la formación de hielo en la zona más alta.

En relación con esto debe indicarse lo siguiente: la cerveza comienza a separarse por congelamiento a aproximadamente -2°C; la tipo Pilsener, a aproximadamente -2,2°C y la tipo Bock, a aproximadamente -2,9°C. Esto limita hacia abajo la refrigeración, dado que la formación de hielo tiene un efecto negativo sobre la calidad de la cerveza y dificulta la evacuación de calor.

La cerveza se separa lentamente por congelamiento. Esto comienza con formación de hielo en el borde, en tanto se enriquece en el interior el alcohol con los extractos disueltos en éste. Respecto de la fabricación de cerveza tipo Ice-Beer, ver Sección 4.8.2.

Por lo tanto, para la refrigeración y el reposo en frío de la cerveza a temperaturas de 0 a -2°C, es esencial que el tanque de reposo cilindrocónico tenga una refrigeración del cono. De lo contrario, no es posible refrigerar a esas temperaturas en esa zona (Figura 4.46, b).

La refrigeración del cono tiene también una importancia especial para el estado de

la levadura de cosecha. Sin refrigeración de cono, la cerveza más caliente y la levadura "caen" hacia el fondo; la zona del cono es notablemente más caliente que la zona superior del tanque. Dado que la cerveza ahora ya no contiene nutrientes para la levadura, esta última debe restringir fuertemente su metabolismo. Pero, si la temperatura es más alta, es mayor el metabolismo de la levadura y esto conduce finalmente a que sean degradadas más intensamente substancias de reserva (glicógeno, manano). Las células de levadura debilitadas pasan luego a degradar también otros grupos de substancias. El metabolismo se desordena y la célula de levadura realiza autolisis. La pared celular es destruída y componentes substanciales del citosol (substancias albuminoideas, enzimas, ácidos grasos insaturados y otros) se disuelven lentamente en la cerveza:

- el valor pH de la cerveza aumenta,
- el sabor de la cerveza empeora,
- la estabilidad de sabor es reducida notablemente y
- la conservación biológica empeora.

En el caso de reactores con refrigeración externa, la corriente de recirculación en fase de refrigeración a temperaturas subcero es bombeada por abajo al reactor y con ello la cerveza refrigerada a -1 a -2°C (Figura 4.45). Se logra así una refrigeración uniforme del contenido del reactor y una precipitación de las partículas de turbidez en frío.

La refrigeración ocurre en varias zonas de refrigeración. Son usuales tres zonas de refrigeración en la camisa de refrigeración y en la parte más inferior la refrigeración del cono. De esta manera, es posible refrigerar de manera diferenciada en el tanque según la situación.

4.4.2.2.5 Aislación térmica

Los tanques instalados al aire libre deben ser protegidos, por supuesto, contra influencias adicionales de calor y frío. Pero también los tanques cubiertos necesitan refrigeración individual para poder operar en forma selectiva el proceso de fermentación y maduración. Es por ello que los tanques instalados al aire libre siempre están aislados contra las influencias ambientales y, por lo general, lo están los tanques cubiertos.

La espuma rígida de poliuretano (PUR) ha probado ser lo mejor como material de aislación y se aplica con espesores de capa de 100 a 150 mm (sistema de espuma rígida PUR). La aislación es sellada hacia afuera con chapas de acero al cromo-níquel o de aluminio. En lo posible, se espuma la masa aislante antes del transporte a la fábrica de cerveza.

Si esto no es posible o, si hay que reemplazar la aislación, se debe montar un andamio alrededor del tanque, separar el revestimiento con elementos distanciadores y espumar la masa aislante, capa por capa.

Bajo ningún concepto debe ingresar agua en la aislación porque no se la puede volver a extraer.

Previo a la aplicación de la espuma rígida de poliuretano se debe pintar el tanque con una imprimación que proteja contra la corrosión y que actúe como barrera de cloruros.

La espuma rígida de poliuretano tiene muy buenas propiedades aislantes, de manera que también con tanques cilindrocónicos muy grandes no hay que preocuparse por la temperatura en el interior del tanque ante temperaturas exteriores muy altas o muy bajas.

Pero hay que tener especialmente en cuenta dos cosas:

- El poliuretano es inflamable, pero sólo si el oxígeno puede acceder a él. Esto no es posible en el sistema de espumado in situ. El PU está ajustado como retardador de llama.
- Si la aislación no es totalmente hermética al vapor, entonces el vapor de agua se difunde a la capa de PUR inhibiéndose substan-

ialmente el efecto aislante. Pequeños lugares, por ejemplo uniones de tornillos o soldaduras mal realizadas, alcanzan para la penetración persistente del vapor de agua; inclusive elementos distanciadores de madera (para lograr un espesor aislante uniforme) son puntos de ingreso de agua. Se puede asumir que la aislación puede haber perdido su eficacia principal, a más tardar, después de 10 años.

La espuma de PUR debe ser asegurada contra absorción de vapor de agua por difusión. Por ello, necesita una envoltura hermética contra la difusión de vapor de agua (chapa de aluminio, de acero inoxidable, chapa de acero galvanizado o revestida). El deterioro del efecto aislante debido a difusión de vapor de agua no es reconocible ópticamente. Es por ello que la aislación térmica debe ser realizada con gran esmero por empresas especializadas. El operador debería exigir una garantía por la calidad de los trabajos (¡Garantía de largo plazo!).

4.4.2.3 Posibilidades respecto del control y la automatización de la refrigeración

Lo que sucede en una cuba de fermentación abierta se puede ver y oler. En un tanque cilindrocónico ya no se ve nada. Hay que confiar en los instrumentos de control, pero también hay que tomar medidas a tiempo para que no sufran daño alguno las enormes cantidades de mosto y de cerveza. Estamos por ello interesados en controlar correctamente estos procesos y, dentro de lo posible, en automatizarlos. Esto depende a su vez del dinero disponible.

4.4.2.3.1 Posibilidades de control del proceso de fermentación

Existen varias posibilidades para el control del proceso de fermentación:

- manual, como la forma más sencilla de control,
- semiautomático con preselección de temperatura y
- automático, en dependencia de temperatura, tiempo y hasta degradación de extracto.

Para el control totalmente automático del proceso de fermentación existen varios sistemas de medición de precisión suficiente:

- Medición de caudal de CO_2:

  Se mide aquí la cantidad de CO_2 generada y, a partir de ello y en combinación con la temperatura y el tiempo, se toman las medidas necesarias.

- Medición de presión diferencial:

  En esto se parte de la siguiente consideración: el mosto es algo más pesado que el agua porque contiene extracto diluido. Así sabemos, por ejemplo (ver Sección 3.5.1.1), que un mosto al 11,4% tiene una densidad de 1,04395; es decir que 1 cm^3 de ese mosto pesa 1,04395 g. Durante la fermentación se transforma la mayor parte del extracto en CO_2 volátil y en alcohol muy liviano, a raíz de lo cual disminuye naturalmente la densidad. La reducción de la densidad puede ser medida indirectamente como presión diferencial, con sondas sensibles de presión, y convertida por cálculo al alcance de fermentación.

En la actualidad todavía se emplean con éxito controles sencillos temporizados con la condición de que se mantengan constantes los parámetros de partida:

- concentración de mosto,
- contenido de oxígeno del mosto,
- temperatura de inicio de fermentación,
- número de células de inicio de fermentación.

Esta variante es mejorable por medio de un control por fuzzy logic.

4.4.2.3.2 Visualización de la operación automatizada de proceso

Tal como ya hemos visto en la sala de cocimiento, se pasa hoy en día de manera progresiva a automatizar los procesos y a visua-

lizar el control sobre los procesos a través de pantallas de monitoreo.

Las características principales del control de procesos son aquí:

- operación totalmente automática del proceso de fermentación y resposo,
- medición del contenido de extracto y del grado de fermentación, sin insertos en el tanque,
- orientación permanente en los monitores respecto del estado de todos los tanques cilindrocónicos,
- son posibles en todo momento cambios individuales en parámetros o valores prefijados, en particular, a través del ordenador,
- todos los datos son almacenados y pueden ser llamados de memoria en todo momento,
- conectando una impresora, se pueden imprimir todos los datos.

En las plantas de mayor tamaño y más modernas, el control de la fermentación y de la maduración casi no es posible resolverlo de otra manera que no sea a través del ordenador, porque sólo por este camino está garantizada la mayor seguridad posible en el desarrollo, con el menor empleo de personal (Figuras 4.47 y 4.47a).

Pero, dado que nadie es capaz de controlar todos los parámetros permanentemente, también es necesario aquí que las fallas que se presentan (discrepancias, averías, etc.) sean indicadas en forma visual y acústica para que el responsable pueda reaccionar inmediatamente.

4.4.3 Realización de la fermentación y la maduración en el tanque cilindrocónico

En lo posible, se realizan hoy en día la fermentación y la maduración en tanques cilindrocónicos. Pero el muy diferente equipamiento técnico en las fábricas de cerveza, así como también opiniones establecidas, permiten también una combinación de tanques convencionales de fermentación y reposo con tanques cilindrocónicos.

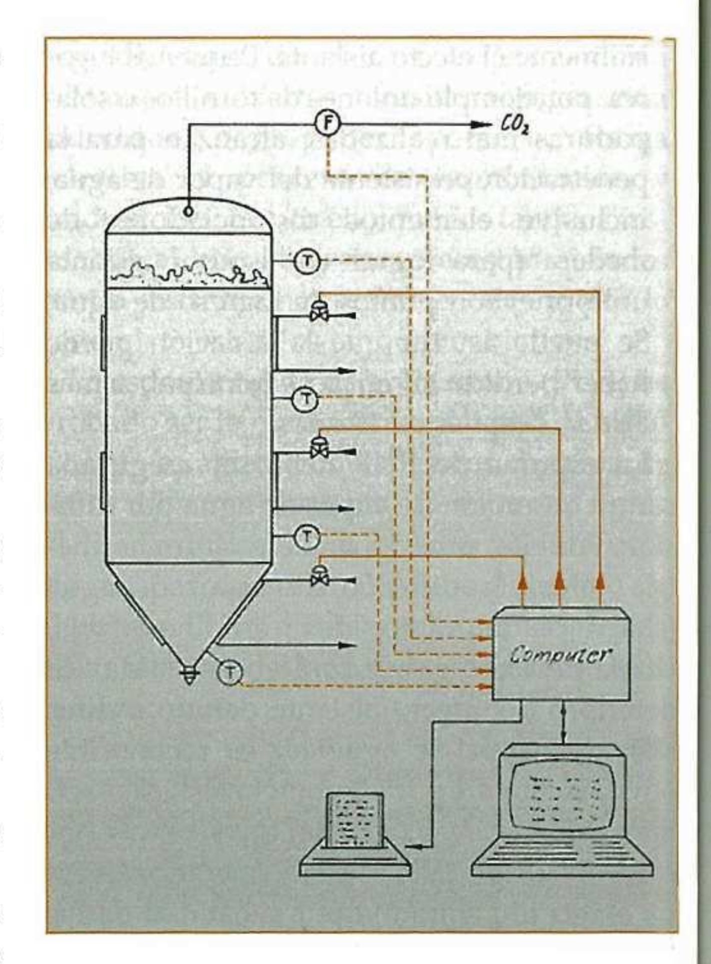


Figura 4.47
Control de procesos y visualización a través de pantallas de monitoreo. Indicación permanente de temperatura

La precondición para el rápido inicio de la fermentación es en cada caso la aireación intensiva del mosto. Sabemos que el oxígeno es el enemigo mortal de la calidad de la cerveza y que debemos hacer todo lo posible para mantenerlo alejado. Pero, si deseamos iniciar rápidamente la fermentación y aprovechar totalmente la fuerza fermentativa de la levadura, debemos adicionar al principio mucho oxígeno al mosto. Esta adición de oxígeno no le hace daño al mosto, porque la levadura lo consume muy rápidamente, cambiando luego sin dilación a fermentación, tan pronto como haya sido consumido

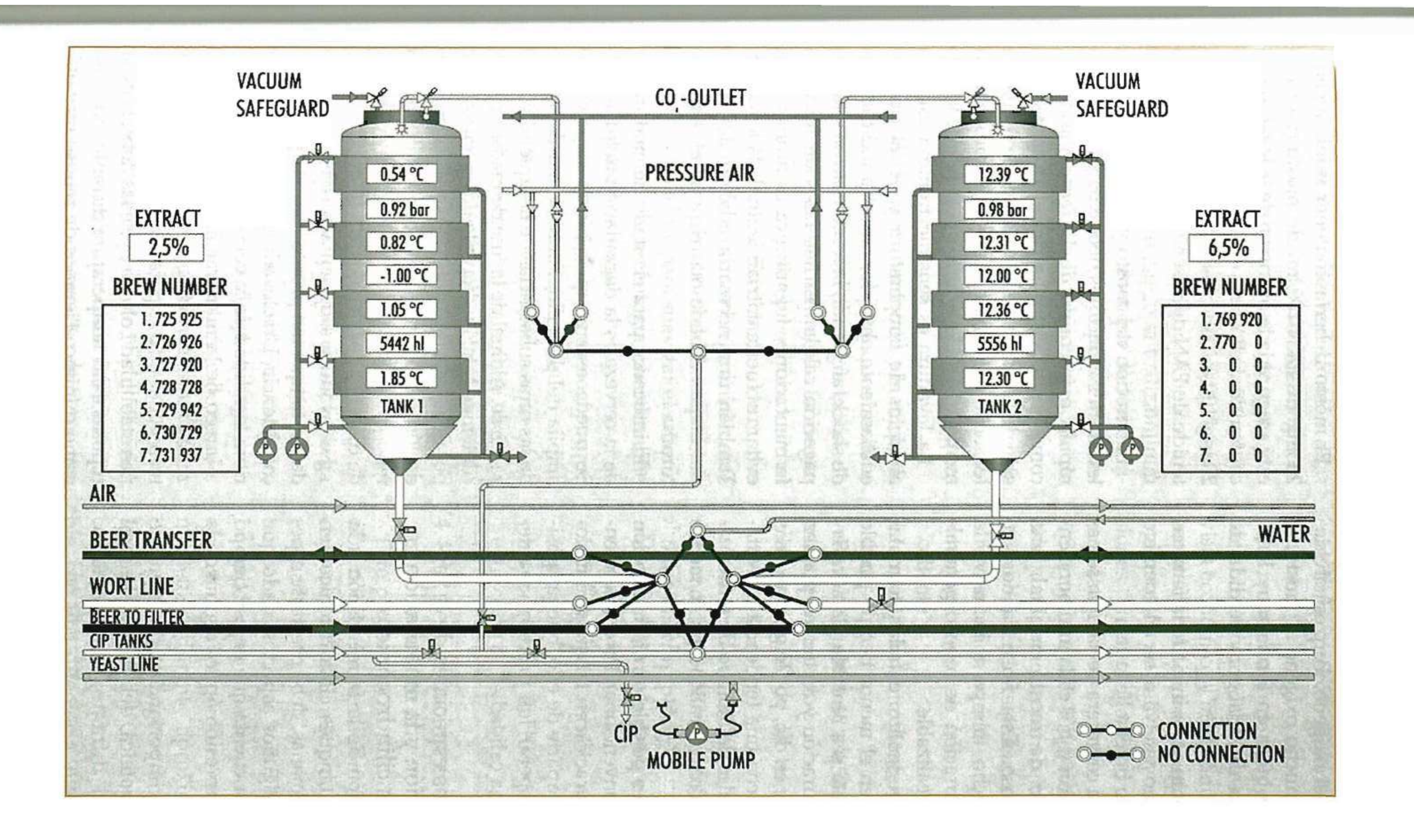


Figura 4.47a
Tanques de fermentación y de maduración - vías de suministro

4

completamente el oxígeno. Pero, si olvidamos adicionar mucho oxígeno al mosto, la fermentación se inicia en forma muy lenta con el resultado de una gran pérdida de tiempo.

4

Tan pronto como se ha iniciado la fermentación, el oxígeno vuelve a ser el enemigo mortal, –hasta la botella llenada–.

Una vieja regla cervecera decía: una semana de fermentación y, por cada uno por ciento de contenido de mosto original, una semana de reposo. Esta frase ya no rige desde hace mucho tiempo e inclusive la mitad de esa duración de reposo generalmente ya no es realizable.

La cerveza debe ser fermentada y terminada de madurar en el menor tiempo posible para que la planta sea rentable. Para la fermentación, maduración y reposo no pueden ser previstos hoy en día, por lo general, más de 17 a 20 días, con una tendencia a acortamientos adicionales del tiempo de fermentación y maduración, con calidad por lo menos invariable.

Esto también es posible con fermentación y maduración convencional. Pero la fermentación y la maduración en tanques cilindrocónicos ofrecen, aparte de ello, buenas posibilidades para operar los procesos manteniendo una buena calidad.

4.4.3.1 Aspectos especiales de la fermentación y la maduración en tanques cilindrocónicos

En la realización de la fermentación y la maduración en tanques cilindrocónicos en menos de tres semanas, debe prestarse especial atención a algunos aspectos, dado que hay que tener en cuenta que en ese tiempo ya no se tiene impresión óptica alguna de la cerveza.

Es de especial importancia primeramente la estructura proteica del mosto, la cual hemos ajustado durante la maceración. Básicamente, rige:

El mosto debería contener mínimamente 23 mg de FAN/100 ml de mosto para que esté asegurada la nutrición de la levadura. El contenido de FAN no debe quedar debajo de 20 mg/100 ml. En mosto de adjuntos, el contenido de FAN debe ser 15 mg/100 ml como mínimo.

La aireción del mosto y la dosificación de levadura son factores decisivos para el inicio rápido e intensivo de la fermentación, tal como hemos visto. La cantidad de dosificación de levadura de 30 millones de células de levadura por 1 ml corresponde aproximadamente a 1 l de levadura espesa por cada 1 hl.

La levadura es sensible frente a cambios abruptos de temperatura y, en el caso de enfriamiento abrupto, muestra indicaciones de shock, afectando la fermentación y la propagación celular. En las fases de inicio de fermentación y logarítmica es fundamental evitar un fuerte enfriamiento de la levadura. También una necesaria adición del mosto por etapas debería ocurrir a igual temperatura.

El indicador para el estado de maduración de la cerveza es la degradación del diacetilo. Se puede asumir que, con la degradación amplia del diacetilo, también han desaparcido las otras substancias de bouquet de cerveza verde. Al final de la fase de maduración, el contenido total de diacetilo debe encontrarse por debajo de 0,10 mg/l. Una reducida degradación ocurre también todavía durante el reposo. La cerveza debe tener un contenido de diacetilo por debajo de 0,10 mg/l.

La levadura sedimentada debe ser extraída del tanque tan pronto como lo permita su consistencia. Una levadura en autolisis deteriora la calidad de la cerveza.

Luego de la maduración, todas las cervezas deberían ser refrigeradas a una temperatura de -1 a -2°C para alcanzar una necesaria estabilidad coloidal, y se las debería dejar reposar a esa temperatura durante siete días como mínimo. Tiempos de reposo más bre-

s y temperaturas de reposo más altas requieren un esfuerzo de estabilización considerablemente mayor. ¡Nada se logra con un descenso rápido de temperatura!

La fermentación y maduración pueden ser realizadas en un tanque cilindrocónico –proceso monotanque– o se realiza la fermentación en el tanque de fermentación cilindrocónico y el reposo en el tanque de reposo cilindrocónico –proceso de dos tanques–.

También es posible efectuar la fermentación en el tanque de fermentación cilindrocónico y madurar y reposar en los tanques de reposo convencionales.

Si se realizan la fermentación y la maduración con el proceso de dos tanques, se debe efectuar la maduración (la degradación de diacetilo) todavía en el tanque de fermentación cilindrocónico para obtener una calidad uniforme de cerveza. En el tanque de reposo cilindrocónico debe ocurrir luego únicamente el reposo en frío para la estabilización coloidal, la clarificación y para suavizar el sabor.

Básicamente, la tecnología monotanque ofrece mayores ventajas:

- el esfuerzo de limpieza es menor, porque debe ser limpiado sólo un tanque,
- la pérdida de CO_2 es menor, porque no se introduce a presión en un tanque vacío,
- la merma es menor, porque no hay pérdidas por tuberías y humedecimiento,
- se necesita menor tiempo de trabajo, porque se prescinde del trasiego de la cerveza,
- se ahorra energía, porque no se trasiega por bombeo, y
- no se corre peligro de que ingrese oxígeno.

Desventajoso es el mal aprovechamiento del volumen de tanque en la fase de reposo, porque ahí ya no es necesario el espacio para ascenso de la capa de espuma. En lo referente a la calidad de cerveza, no hay diferencias medibles entre ambos procesos. Básicamente se puede realizar todo proceso de fermentación como proceso monotanque o de dos tanques.

La recuperación de CO_2 es siempre necesaria o recomendable desde el punto de vista económico y medioambiental. Una carbonatación sólo es necesaria en procesos de maduración en caliente y a bajas sobrepresiones. Una refrigeración es necesaria en cada tanque.

Se puede dividir los procesos de fermentación y maduración para cervezas de fermentación baja en los siguientes tres grupos:

- fermentación en frío - maduración en frío,
- fermentación en frío - maduración en caliente y
- fermentación en caliente - maduración en frío.

En las Figuras 4.48 a 4.53 según Miedaner están representados:

- el desarrollo de la temperatura, como línea negra,
- el contenido de diacetilo, como línea roja,
- el contenido de extracto, como línea de trazo interrumpido y
- el desarrollo de la presión, como línea roja de puntos y rayas,
- la S en la flecha significa momento del trasiego y
- las pequeñas flechas, momento de la extracción de levadura.

4.4.3.2 Fermentación en frío – maduración en frío

Este proceso ya ha sido descripto en relación con la fermentación y la maduración convencionales. El inicio de fermentación es realizado a 6 a 7 °C y se deja aumentar la temperatura hasta 8 a 9°C (Figura 4.48). Luego de aproximadamente dos días se ha alcanzado la temperatura más alta, la cual es mantenida durante aproximadamente dos días antes de refrigerar posteriormente en forma lenta a 3 a 4°C. Luego se trasiega la cerveza con un resto de extracto fermentable, con una diferencia, medida por hidró-

metro, con respecto a la atenuación límite:

- en el caso de fermentación en cuba abierta, de 1,1 a 1,3% y,
- en el caso de tanque cilindrocónico, de 0,8 a 1,0%, como máximo.

Luego se refrigera a temperatura de reposo de manera tan lenta que la levadura pueda degradar el diacetilo aún presente hasta por debajo del umbral organoléptico (0,1 mg/l). Posteriormente se deja reposar todavía a -1°C durante mínimamente una semana. No es recomendable una duración de reposo que exceda de cinco semanas. En todos los casos debería hacerse un control de bodega de maduración, ya que de lo contrario se producen:

- cervezas con sabor a levadura,
- un comienzo de autolisis de la levadura con incremento del valor pH y
- deterioros cualitativos en sabor, espuma y estabilidad.

Una especialidad es el trasiego con capa de espuma de cerveza verde.

Por adición de Krausen se entiende la adición de cerveza verde en estado de fermentación inicial, cuando el grado de fermentación es aproximadamente 25%. A veces se adiciona Krausen para proporcionar el extracto faltante para la fermentación secundaria –pero esto es un caso de emergencia que no está sujeto a discusión aquí–. Lo que interesa ahora es que algunas plantas adicionan Krausen a propósito durante el trasiego de la cerveza para mejorar la espuma y el sabor. Para ello se termina casi de fermentar la cerveza en una vigorosa fermentación principal y esta cerveza, sin la levadura de fermentación principal suficientemente pre-

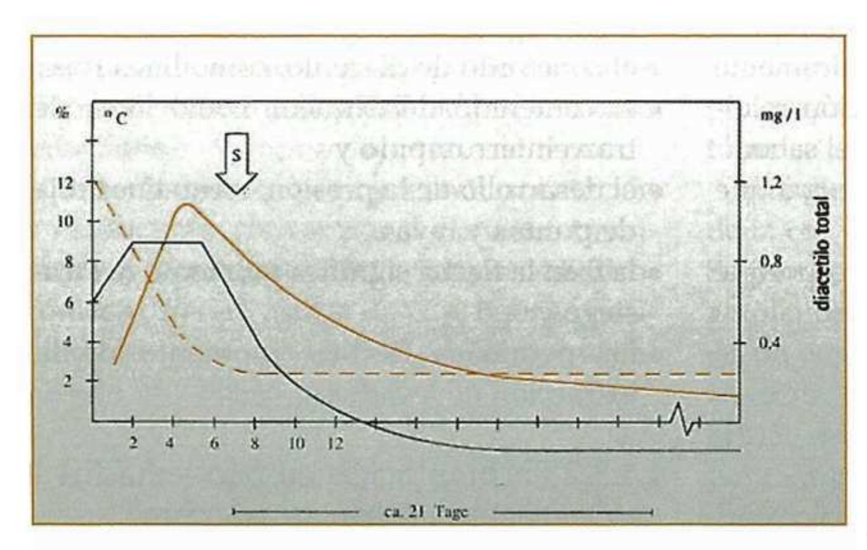


Figura 4.48
Fermentación en frío - maduración en frío

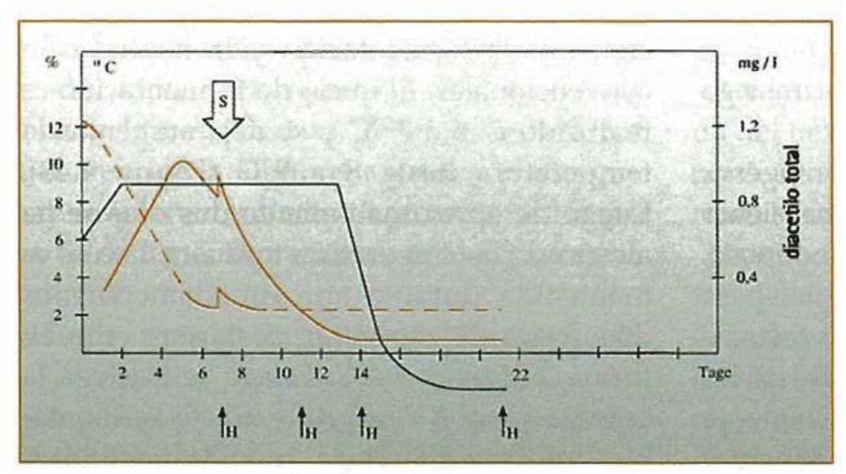


Figura 4.49
Fermentación en frío con maduración encauzada en el tanque cilindrocónico

ci itada, es trasegada con aproximadamente 10 a 12% de cerveza verde en estado de fermentación inicial a aproximadamente 5°C.

La adición de Krausen produce cervezas cualitativamente buenas. Pero la levadura de fermentación principal, en lo posible, debe haber sido extraída completamente porque, de lo contrario, afecta negativamente la calidad.

4.4.3.3 Fermentación en frío con maduración encauzada en el tanque cilindrocónico

En este proceso se realiza el inicio de fermentación a 6 a 7°C y nuevamente se deja aumentar la temperatura hasta 8 a 9°C. Pero esta temperatura máxima es mantenida y se trasiega con la misma temperatura al tanque de reposo cilindrocónico (Figura 4.49). Durante el trasiego se adiciona a la cerveza verde aproximadamente un 10% de Krausen (cerveza verde en estado de fermentación inicial). De este modo entra a la cerveza levadura activa, de fermentación vigorosa, la cual continúa reduciendo el diacetilo aún presente de manera de quedar por debajo del umbral organoléptico. Recién entonces se pasa a refrigerar a la temperatura de reposo de -1°C y se la mantiene durante una semana.

Luego de llegar a la atenuación alcanzada, la cual debe estar lo más cerca posible de la atenuación límite, debe extraerse levadura cada dos a cuatro días y por supuesto al final, antes de la filtración.

El tiempo de producción es aproximadamente 20 días.

4.4.3.4 Fermentación en caliente, sin presión - maduración en frío

En la búsqueda de posibilidades de acelerar la fermentación y la maduración se aprovecha que todos los procesos de fermentación y maduración se desarrollan más rápidamente a mayores temperaturas.

Por lo tanto, si se realiza el inicio de fermentación a 8°C y se deja crecer la temperatura a 12 a 14°C (Figura 4.50), se forma entonces mucho más diacetilo; pero, para eso, se lo degrada mucho más rápida e intensivamente.

Recién después de la degradación de diacetilo, se refrigera a la temperatura de reposo de -1°C y se mantiene todavía durante una semana la fase de reposo en frío. El proceso dura así de 17 a 20 días y puede ser hecho también en bodegas convencionales.

Las ventajas del proceso son:

- la atenuación límite es alcanzada muy rápidamente,
- el diacetilo es degradado en forma rápida y segura,
- las cervezas fabricadas de esta manera tienen buena calidad, y
- el proceso ha sido también exitoso en la fermentación bajo presión.

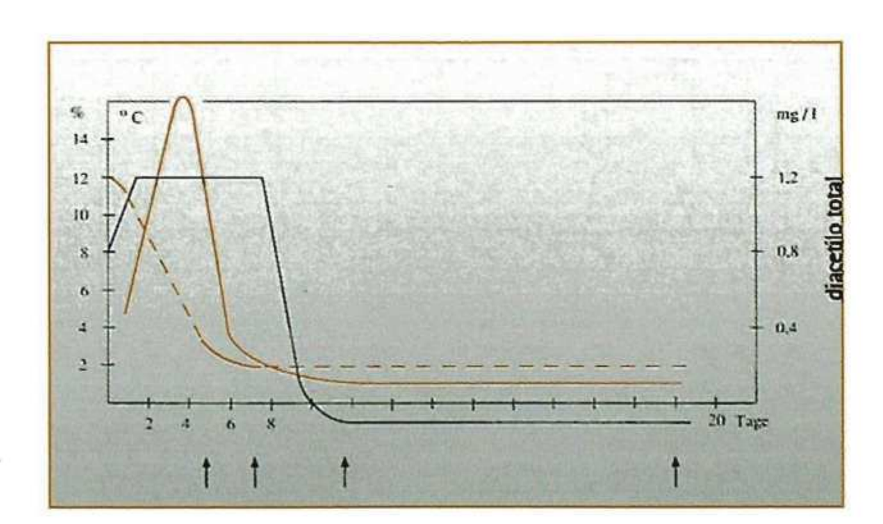


Figura 4.50
Fermentación en caliente, sin presión - maduración en frío

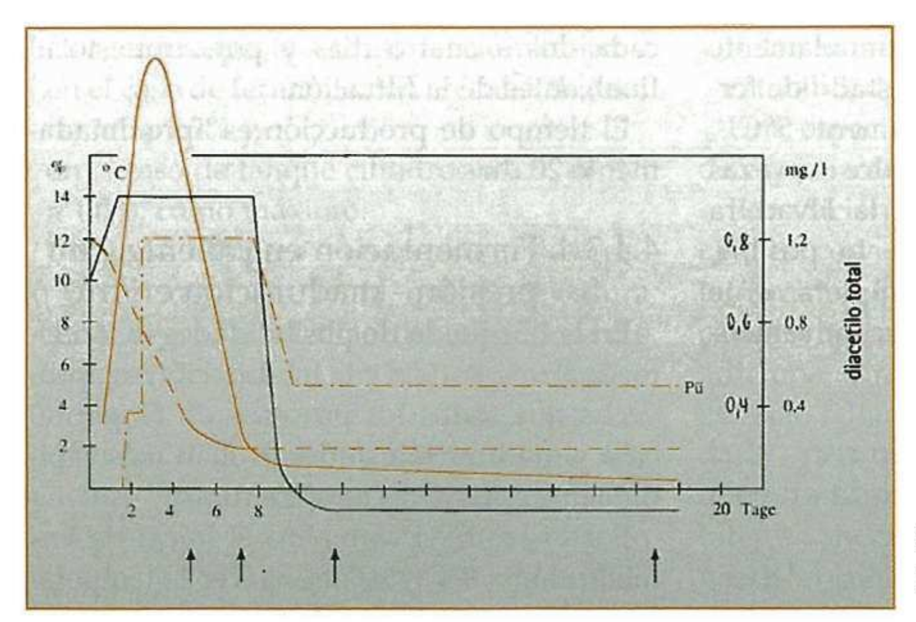


Figura 4.51
Fermentación bajo presión

4.4.3.5 Fermentación bajo presión

Si se deja que las temperaturas continúen aumentando –esto puede ser temperaturas por encima de 20°C–, entonces, por supuesto, se forman aún más productos secundarios de fermentación. Pero todo comienza entonces a desarrollarse en forma descontrolada si no se detiene con presión la formación de más diacetilo y otros productos secundarios (Figura 4.51). Sin embargo, esto presupone que haya disponibles tanques de presión que estén aprobados para la presión necesaria.

Con un grado de fermentación de aproximadamente 50% se aumenta la presión al valor deseado de contrapresión, el cual debe ser calculado. Esta presión es mantenida hasta el final de la fase de maduración, y se despresuriza luego hasta la contrapresión correspondiente a la temperatura de reposo. Luego de la refrigeración en el 9º ó 10º día, se mantiene nuevamente una fase de reposo en frío a -1°C durante una semana como mínimo.

Este proceso dura aproximadamente 17 a 20 días.

4.4.3.6 Fermentación en frío - maduración en caliente

La fermentación en caliente produce siempre muchos productos secundarios de fermentación: si se fermenta en frío y se madura en caliente, se tiene la ventaja de que no se hayan formado tantos productos secunda-

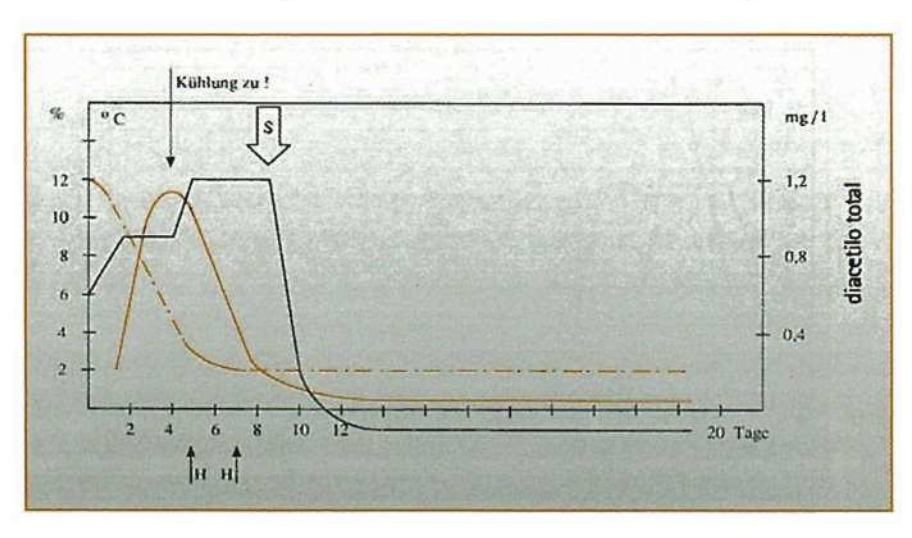


Figura 4.52
Fermentación en frío - maduración en caliente

ri s de fermentación. Pero éstos ahora se pueden degradar bien con una maduración más caliente (Figura 4.52).

En la fermentación principal en frío con maduración integrada, se fermenta a temperaturas de 8 a 9°C hasta un grado de fermentación en cuba de aproximadamente 50%. Luego se desconecta la refrigeración y la temperatura asciende por sí sola a 12 a 13°C. Luego de una fase de maduración con control de la degradación de diacetilo, se trasiega y se deja reposar en frío durante una semana, o se refrigera y se deja reposar dentro del tanque a -1°C (proceso monotanque). A una sobrepresión de 1 bar, es realizable un contenido de CO_2 de 5,4 a 5,6 g/l, sin poscarbonatación. Este proceso también se puede realizar en la cava de fermentación convencional.

Todo el proceso dura aproximadamente 20 días.

4.4.3.7 Fermentación en frío con maduración programada

El proceso llamado 9/20 es substancialmente más costoso: nuevamente la fermentación principal ocurre a temperaturas de 8 a 10°C y se procede con la misma hasta casi la fermentación final (Figura 4.53). Posteriormente, la cerveza verde es calentada a 20°C, a través de un intercambiador de calor de placas, bajo adición de 10% de Krausen; se la mantiene 1,5 a 2 días a esa temperatura y se controla en esto la degradación del diacetilo. Luego, la cerveza es refrigerada a la temperatura de reposo de -1°C y se la deja reposar todavía una semana.

Es recomendable extraer la levadura de fermentación principal luego de haber alcanzado la fermentación final; es decir, antes de la adición de Krausen. Para ello, lo mejor es utilizar una separadora centrífuga. Pero se debe trabajar entonces con CO_2 para evitar el ingreso de aire. El proceso dura aproximadamente 20 días y tiene las siguientes particularidades:

- la fase de maduración se acorta a dos a tres días,
- toda la fase de maduración y de frío dura diez a doce días,
- es importante una precipitación asegurada de la levadura luego de la maduración.

4.4.3.8 Fermentación principal en caliente con maduración normal o forzada

Hemos visto que es posible acortar considerablemente el tiempo de fermentación si se aumenta la temperatura. Pero en esto se

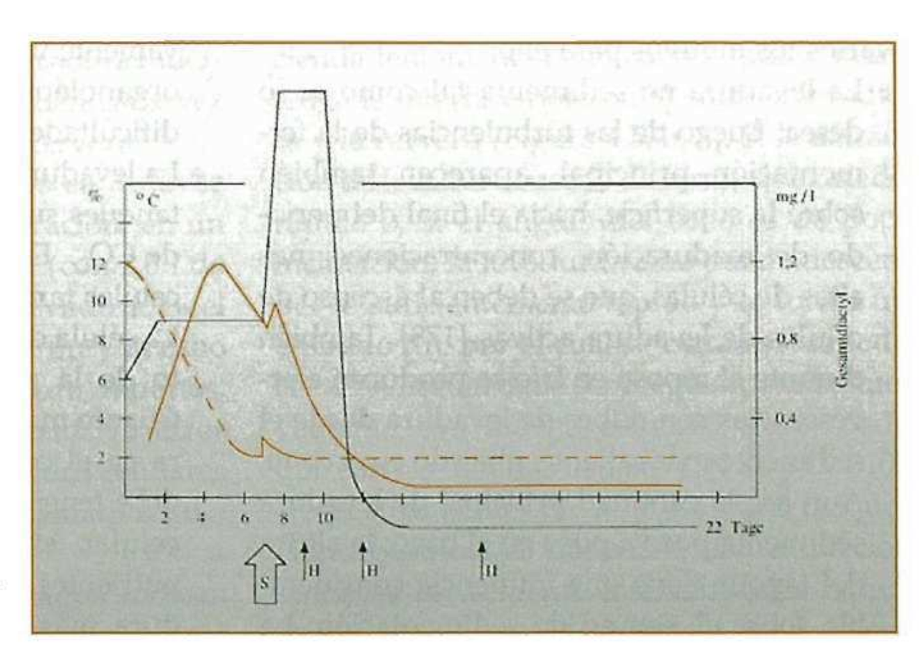


Figura 4.53
Fermentación en frío con maduración programada

modifica también una serie de factores:

- aumenta la cantidad de productos secundarios de fermentación,
- con aumento de temperatura, las cervezas tienden a desarrollar notas de aroma a levadura y floral,
- la espuma y la estabilidad coloidal generalmente empeoran.

Como ventajas se pueden nombrar:

- la fermentación se deja acortar a cuatro días,
- esto significa un aumento substancial de capacidad.

Por lo general, la fermentación en caliente tiene sentido sólo en combinación con adición de Krausen y diferentes parámetros de maduración.

4.4.4 Cosecha de levadura del tanque cilindrocónico

La cosecha de levadura es un capítulo extremadamente importante para el cervecero. Interesan en esto:

- el momento de la cosecha de levadura,
- el método de cosecha de levadura.

4.4.4.1 Momento de la cosecha de levadura

La levadura debería ser cosechada tantas veces y tan temprano como sea posible. Son varios los motivos para ello:

- La levadura no sedimenta tal como se lo desea. Luego de las turbulencias de la fermentación principal, aparecen también sobre la superficie, hacia el final del período de maduración, concentraciones más altas de células, que se deben al ascenso de células de levadura activas [178]. También durante el reposo en frío se producen efervescencias con nubes de levadura desde el sedimento más caliente, ubicado en el cono. Aun así, la cantidad principal de levadura sedimenta poco a poco en el cono; la altura del tanque tiene una influencia considerable sobre el tiempo de sedimentación. La levadura ya sedimentada debería ser extraída lo más pronto posible.
- Con la progresiva maduración de la cerveza, la levadura excreta sobre todo substancias albuminoideas de bajo peso molecular, las cuales ya no pueden ser reabsorbidas; éstas tienen un efecto negativo sobre la retención de espuma.
- Por parte de la levadura, se excreta, con maduración y reposo en frío progresivos, una proteinasa A [179], la cual conduce a una desmejora substancial de la espuma, debido a la degradación de substancias en la cerveza, que son positivas para la espuma. Esto es sobre todo importante para las cervezas draft, porque allí no se realiza tratamiento térmico alguno y estas enzimas llegan a la cerveza embotellada. La levadura cosechada tempranamente tiene una menor capacidad de excreción de proteinasa que la levadura cosechada más tarde y las levaduras en suspensión tienen una menor capacidad que las sedimentadas. De esto resultan mejores calidades de cerveza por cosechas tempranas de levadura.
- Un mal estado de la levadura conduce a productos de autolisis, que son desventajosos para el ulterior desarrollo de la fermentación. Los complejos formados por proteína, glicógeno y manano se disuelven nuevamente y, en el caso de exceder el umbral organoléptico, conducen a turbideces y dificultades de filtración.
- La levadura en el cono sufre, sobre todo en tanques superiores, bajo la presión parcial de CO_2. Esta última enriquece este veneno celular también en las células de levadura. La célula de levadura soporta mejor el efecto de la presión que el efecto del CO_2. Cuanto más tiempo se encuentra la levadura en el cono, tanto más es debilitada; se debe tener en cuenta que la gran densidad celular en esa zona apenas transfiere nutrientes. Sobre todo las células de levadura más viejas (con varias cicatrices de

emación) pasan entonces, tan pronto omo se han consumido sus substancias de eserva, a la metabolización de sus componentes celulares. Este estado es llamado utolisis. En este proceso, las enzimas de ecreción interna disuelven las membranas dentro y alrededor de la célula, y son excretados aminoácidos, ácidos grasos y enzimas. El metabolismo entero se descontrola, de manera que la célula de levadura muere. Las substancias liberadas tienen un efecto muy negativo sobre la calidad:

- debido a los aminoácidos y enzimas proteolíticas liberados, se deterioran de forma persistente el sabor y la retención de espuma,
- los ácidos grasos liberados, en especial los insaturados, tienen una influencia negativa sobre la estabilidad de sabor de la cerveza,
- las substancias excretadas son caldo de cultivo para posibles contaminantes en la cerveza,
- el valor pH de la cerveza se incrementa; esto también es una característica infalible de que se ha iniciado la autolisis.

La porción de células de levadura muertas, que puede ser determinada en forma sencilla por coloración bajo el microscopio, debería ser lo más reducida posible y es, en promedio, aproximadamente de 3%. Si continúa aumentando la porción de células de levadura muertas, existe el riesgo de que lleguen cada vez más productos de autolisis a la cerveza.

De qué cantidades se trata en esto se muestra en una breve consideración: en un tanque de 1000 hl se cosechan (con 2,5 l de levadura espesa /hl) 25 hl de levadura. Si el 3% de esto está muerto, hay al fin y al cabo 75 litros de células de levadura muertas. ¡Hay que imaginarse lo que estos 75 litros pueden transferir como contenidos celulares a la cerveza y qué deterioro cualitativo pueden causar con ello!

Todos los motivos mencionados indican inequívocamente que la levadura debe ser extraída tan temprano como sea posible. Esto debería ser realizado en varias etapas.

4.4.4.2 Métodos de la cosecha de levadura

La levadura es cosechada en el cono del tanque antes de que la cerveza sea trasegada.

La levadura puede ser cosechada del cono

- aprovechando la presión de la columna de cerveza que se encuentra encima de ella, o
- utilizando una bomba adicional apropiada para mantener constante el caudal. Como bombas se utilizan bombas de membrana, de pistón rotativo o de tornillo excéntrico, las cuales hoy en día ya son también acopladas a un indicador de turbidez.

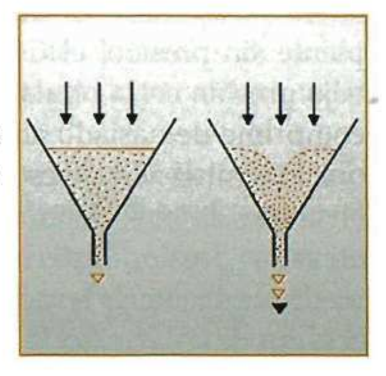
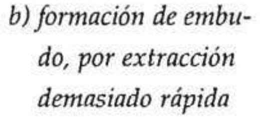


Figura 4.53b
Cosecha de levadura
a) la levadura se desliza uniformemente hacia abajo;

b) formación de embudo, por extracción demasiado rápida

Es importante en esto que la levadura descienda lentamente en el cono y que se mantenga la interfase horizontal entre la levadura y la cerveza (Figura 4.53b, a). Si la extracción de levadura sucede de forma demasiado rápida o, si el ángulo del cono es de poca inclinación, la levadura ya no puede descender lo suficientemente rápido y se forma un embudo (b), por el cual se extrae sobre todo cerveza, la cual debe ser luego separada nuevamente con mucho esfuerzo. Pero, dado que con las tuberías usuales DN 80 y DN 100 (respectivamente, de 3" y 4") para tanques cilindrocónicos es imposible una extracción lenta, es conveniente intercalar una reducción, a los efectos de garantizar un descenso

uniforme de la levadura, por estrangulamiento de la cantidad de extracción.

La extracción de levadura es apoyada por

- superficies interiores del cono pulidas electrolíticamente,
- menores ángulos interiores del cono (60 - 70°) y
- bombas que transportan de forma pulsante, las cuales transmiten las vibraciones a la levadura.

La levadura que se encuentra en el tanque debe compensar la presión ejercida sobre ella durante la fermentación y maduración por medio de una presión interna (turgor) equivalente. Por ejemplo, en una columna de cerveza de 10m de altura en el tanque cilindrocónico, el interior de la levadura está también bajo una presión interna de 1 bar (m). Si ahora la levadura es descargada a un recipiente sin presión, el CO_2 que se encuentra bajo presión en la célula de levadura se descomprime demasiado abruptamente. Esto es una real situación de estrés para la célula de levadura, la cual debe ahora compensar su elevada presión interna frente al nuevo medio ambiente: la levadura espuma como la cerveza de levadura que la rodea y forma una cantidad grande de espuma relativamente estable (tener en cuenta hasta 50% de espacio para ascenso de la capa de espuma). Esto debe ser tenido en cuenta en la cosecha de levadura si es que no se bombea la levadura inmediatamente a un recipiente previamente presurizado, sujeto a una aireación y al barrido de CO_2 por medio del insuflado de aire estéril, antes de efectuar la despresurización. La extracción de CO_2 y el abastecimiento con oxígeno son muy importantes para la vitalidad de la levadura si ésta debe ser reutilizada inmediatamente.

4.4.4.3 Tratamiento y almacenamiento de la levadura cosechada

Luego de la cosecha, la levadura debe ser tratada y almacenada en forma apropiada. Esto incluye:

- la aireación o no aireación de la levadura cosechada,
- la temperatura de almacenamiento de levadura,
- el método de almacenamiento y
- el control de la levadura cosechada.

4.4.4.3.1 Aireación de la levadura cosechada

La levadura cosechada debería ser reutilizada lo más pronto posible para el inicio de fermentación. Una aireación de la levadura incrementa substancialmente su vitalidad. Sin embargo, antes de que el aire disuelto pueda penetrar a la célula de levadura, debe ser extraído el CO_2 intracelular. Esta fase de aireación para la extracción del CO_2 y de abastecimiento de la levadura con oxígeno dura aproximadamente dos a tres horas [176]. Luego, la levadura está nuevamente disponible para el inicio de fermentación.

Debido a la aireación, el metabolismo energético en la célula es convertido a respiración, conduciendo de esta manera a una gran ganancia de energía, con reducida degradación de hidratos de carbono de reserva.

Si la levadura no es reutilizada inmediatamente para inicio de fermentación, se recomienda dejar la levadura primeramente sin aireación, para no iniciar el metabolismo estructural y energético, dado que con el suministro de oxígeno comienzan inmediatamente la respiración y los procesos metabólicos, pero no se suministran nuevas fuentes de energía (mosto) [158]. La levadura comienza con la degradación más intensa de las substancias de reserva aún presentes. Este potencial de reserva le falta luego a la levadura al inicio de la fermentación. La levadura se encuentra por ello en un estado substancialmente peor, lo cual se expresa en una mayor porción de células muertas en la población siguiente. Este debilitamiento de las células debería ser evitado. Por este moti-

v la aireación debería ocurrir siempre también durante el inicio de fermentación de la levadura.

4.4.4.3.2 Temperatura de almacenamiento de levadura

Cuanto más tiempo deba ser almacenada la levadura, tanto menor debe ser su temperatura de almacenamiento. Un almacenamiento breve y frío es siempre el método más apropiado para almacenar la levadura. También en el caso de operación de fermentación y de maduración en caliente, la levadura mantiene sus propiedades fermentativas si entre las operaciones se la almacena en frío [175].

Lo único que está en contra de la baja temperatura de almacenamiento es la tendencia de la levadura, debido al diferencial de temperatura negativo, a excreciones por shock, en las cuales se ceden al mosto sobre todo aminoácidos y nucleótidos, de los cuales sólo los aminoácidos son reabsorbidos al cabo de algunas horas.

En el caso de un almacenamiento por breve plazo, debería realizarse un enfriamiento

- a temperatura de inicio de fermentación, pero no mayor que 8°C,
- a 3 a 5°C, en el caso de almacenamiento por el fin de semana.

Durante las pausas de cocimiento, el almacenamiento debería ocurrir a 0 a 1°C y la levadura debería ser almacenada

- bajo cerveza, con algo de extracto residual o
- bajo cerveza con adición de mosto.

En el caso de interrupciones muy largas, se debe prensar la levadura y almacenarla a 0 a 1°C.

4.4.4.3.3 Método de almacenamiento de la levadura de cosecha

Antaño era generalmente usual lavar la levadura de cosecha, tamizarla y almacenarla bajo agua. El tamizado se realiza por medio de un tambor vibratorio (ver Figura 4.54). Se separan aquí las partículas de trub y se distribuye finamente la levadura. Sin embargo, el riesgo de contaminación en conexión con el lavado y el tamizado es muy grande, de manera que hoy en día se desiste en general del tamizado de la levadura.

Lo mismo vale para el almacenamiento de la levadura bajo agua, tal como era usual antaño en grandes tinas de levadura. A través del agua, la levadura es lixiviada. Por medio de procesos osmóticos, se ceden vitaminas, minerales y aminoácidos y, de esta manera, la levadura es debilitada. Por ello se almacena la levadura debajo del residuo fermentado de cerveza. Si se almacena la levadura bajo agua, se lo hace siempre a muy baja temperatura y con una dosificación de mosto, pero sin aireación. Dado que también siempre están presentes bacterias de ácido acético, éstas se propagan bajo oxidación del alcohol presente.

En algunos países es usual adicionar ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido cítrico a la levadura y con ello disminuir el pH a un valor de 2,0 a 2,5 (en un tiempo de efecto de hasta 12 h). Debido al bajo pH, se impide el

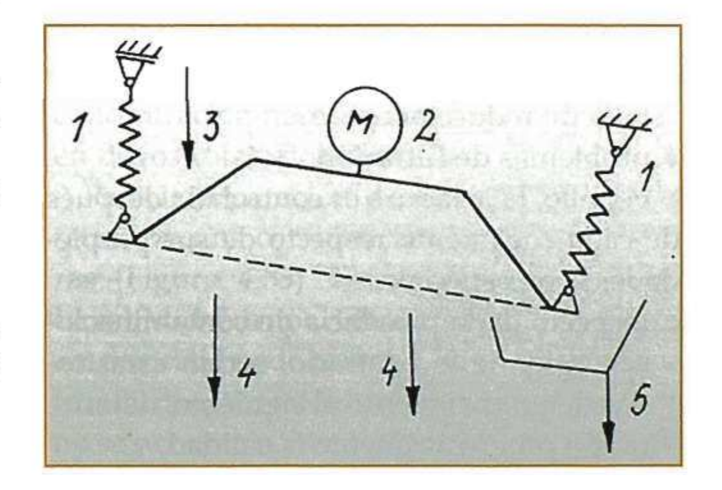


Figura 4.54: Tamiz de levadura
(1) suspensión, (2) accionamiento desequilibrado, (3) suministro de levadura, (4) levadura tamizada, (5) residuos

desarrollo de contaminantes dañinos, en tanto que las levaduras son resistentes al bajo valor pH. Aun así, se produce un debilitamiento de la levadura.

4

Es tales casos siempre es mejor propagar un nuevo cultivo.

4.4.4.4 Control de la levadura de cosecha

Toda fábrica de cerveza está interesada en lograr una buena calidad de levadura, particularmente porque que muchas desventajas tecnológicas y sensoriales tienen por causal un mal estado de la levadura, tales como:

- primer sabor a azufre y levadura,
- retención pobre de espuma,
- amargor amplio y remanente,
- aumento del valor pH en la cerveza en 0,1 a 0,2,
- retrasos de fermentación,
- aumento de los valores de diacetilo y reducción pobre,
- fuerte propagación de contaminantes de cerveza frente a la levadura debilitada,
- aumento del número de células muertas de levadura,
- disminución del comportamiento floculante de la levadura,
- sedimentación de la levadura, como en sopas
- estabilidad de sabor disminuida, debido a falta de reducciones,
- problemas de filtración.

Por ello, la levadura es controlada después de cada cocimiento respecto de sus propiedades y, en especial,

- respecto de la presencia de contaminaciones, que, de lo contrario, serían arrastradas de un cocimiento al siguiente, deteriorando progresivamente la calidad, y
- respecto de la porción de células muertas de levadura, la cual, en lo posible, no debe ser mayor que 3% y en ningún caso mayor que 5%. Una porción más reducida de células muertas de levadura indica una levadura de mayor vitalidad.
- Por ello, se debería controlar regularmente la degradación de extracto (Δ E_S/unidad de
- tiempo),

  el tiempo de maduración,

  para estimar la vitalidad de la levadura.

La levadura de fermentación baja no es cultivada más de 5 a 6 ciclos, y a veces sólo 1 a 2 ciclos.

Las levaduras de fermentación alta son cultivadas por muchos más ciclos: 5 a 15 veces son usuales en esto y hay también fábricas de cerveza de fermentación alta, que utilizan su levadura durante un año o más, sin nuevo cultivo de propagación. Sin embargo, en la fabricación de cervezas de trigo en el tanque cilindrocónico debe prestarse atención a particularidades en la reutilización de la levadura (ver Sección 7.3.1.2).

Luego de cada cocimiento, la levadura debería ser controlada respecto de la presencia de bacterias. Si la levadura está infectada, arrastra los gérmenes de infección de un cocimiento al siguiente. Contra esto sólo ayuda una forma de trabajo meticulosamente limpia.

A una buena levadura para inicio de fermentación se le exige lo siguiente:

- debe estar libre de microorganismos deteriorantes de la cerveza,
- la porción de células muertas no debe ser mayor que 3%,
- debe tener una buena velocidad de inicio de fermentación,
- debe posibilitar una fermentación amplia,
- debe posibilitar 8 a 10 ciclos con total capacidad,
- su consistencia debe ser espesa,
- debe estar visualmente limpia y no ensuciada por trub y
- debe haber satisfecho las exigencias de la variedad de cerveza a fabricar, en lo referente a olor y sabor.

Un control de las células muertas de levadura ocurre generalmente todavía por coloración con azul de metileno: las células

muertas de levadura se colorean con el colorante; las células vivas, no.

4.4.5 Calidad de la cerveza en la extracción

Luego de la extracción de la levadura, la cerveza es transferida desde el tanque a la filtración. Esta cerveza debe ser coloidalmente estable. A esta cerveza se le exige lo siguiente:

- temperatura de 0 a -1°C (luego de una semana de reposo a -1 a -2°C),
- contenido mínimo de CO_2 de 0,50%, sin poscarbonatación,
- valor pH 4,2 a 4,4, como máximo 4,6,
- concentración de levadura: 2 millones de células de levadura/ml, como máximo 5 millones/ml,
- contenido de diacetilo 0,10 mg/l, como máximo,
- contenido de oxígeno 0 mg/l.

4.4.6 Recuperación de cerveza de la levadura excesiva (cerveza de fondos de tanque)

Por fondos de tanque se entiende la cantidad de levadura que queda en el tanque de reposo luego de la extracción de la cerveza. Esta levadura, por supuesto, aún contiene cerveza (cerveza de fondos de tanque). Se puede calcular con 3 litros de levadura de cosecha + cerveza de fondo de tanque por cada 1 hl de cerveza o de la siguiente manera: la cantidad de fondos de tanque es 1,5 a 2% de la cantidad de cerveza.Se puede recuperar de la levadura aproximadamente el 1% de la producción total, como cerveza de fondos de tanque [54]. Existen para ello varias posibilidades: filtrar y prensar la levadura, utilización de separadoras centrífugas de discos o separadores de toberas, utilización de sedicanter (decantador centrífugo) o filtración por membrana.

4.4.6.1 Prensado de la levadura

La levadura es conducida a un filtro prensa de cámaras y se filtra la cerveza a través de paños de prensado, hechos de polipropileno. Por medio de presiones de 4 a 6 bar y finalmente de 15 a 18 bar, la torta de levadura es prensada como levadura de hornear y, al abrir el filtro-prensa de cámaras, puede ser extraída y vendida con beneficio.

Debido a las presiones aumentadas, las desventajas de este proceso son particularmente notables, como valor pH más elevado, valores mayores de sustancias albuminoideas y compuestos nucleicos, si la levadura ha sido previamente almacenada durante un tiempo prolongado y a alta temperatura [55]. La exigencia es por ello: prensar inmediatamente después de sedimentada la levadura. También es posible retornar esta cerveza, sometida a filtración y pasteurización flash, a la fermentación primaria, porque entonces los contenidos precipitados son absorbidos y consumidos por la levadura. De esta manera se puede evitar una merma de calidad. (ver al respecto Sección 4.4.6.4).

4.4.6.2 Separación de la levadura

El proceso de separación de la levadura es empleado desde hace muchos años en la fabricación de levadura de hornear. En este proceso, la suspensión de levadura (llamada allí caldo de fermentación) es preconcentrada en separadores de tobera y llevada a la concentración necesaria de venta y embalaje en filtros rotatorios de vacío.

Para la separación de levadura cervecera se utiliza una combinación de discos y toberas (Figura 4.55). Estas separadoras (Alfa Laval Mid Europe, Glinde, Alemania) poseen dos salidas de toberas, de manera que la levadura es extraída también bajo presión, y no se necesita cerrar la centrífuga. El tamaño de tobera varía, de acuerdo con el grado de espesamiento en la salida, entre 0,9 y 3 mm. El contenido de sólidos de la levadura espesada varía entre 15,5 y 20% de substancia seca de la levadura.

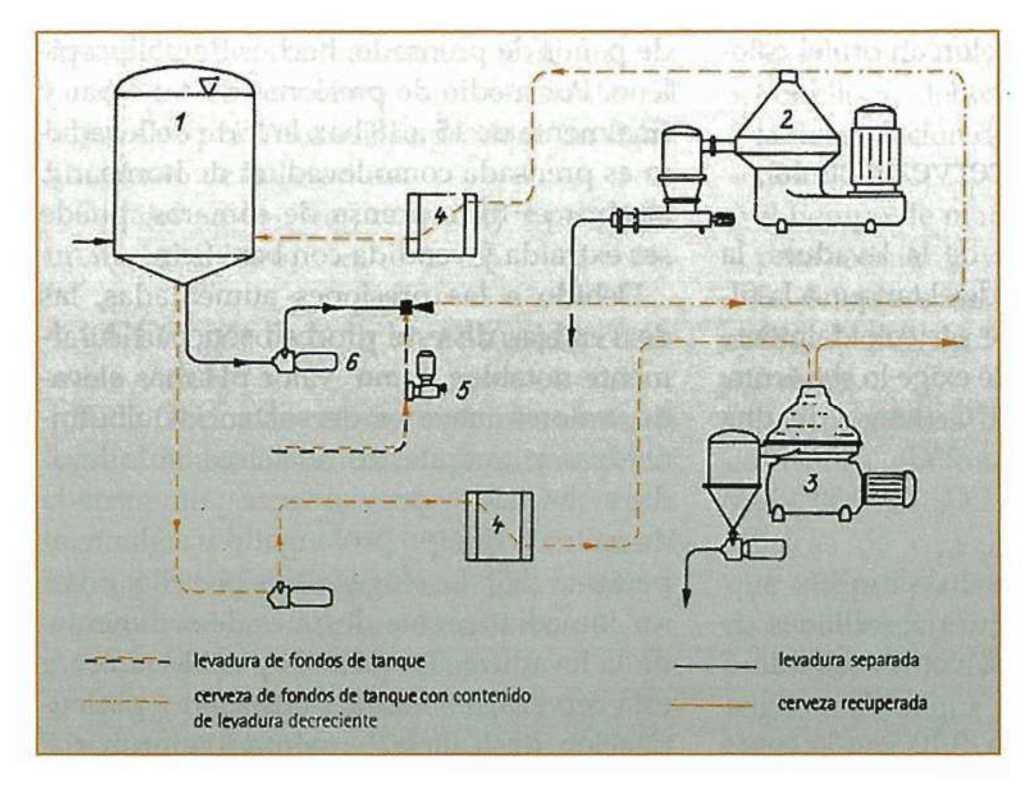


Figura 4.55
Separación de levadura
(1) tanque de recirculación
(2) separadora centrífuga de preclarificación
(3) separadora centrífuga de clarificación de alto rendimiento
(4) enfriador de placas
(5) bomba de descarga de levadura
(6) bomba

Un separador de tobera de alto rendimiento (Feux 510 de Alfa Laval) tiene, con un motor de 45 kW, un caudal de 25 - 75 hl/h y puede recuperar un 65% de la cerveza.

4.4.6.3 Filtración por membrana de la levadura

En la filtración por membrana, la corriente de líquido pasa sobre una membrana de porosidad fina, posibilitándose así únicamente a la cerveza muy fluida la difusión a través de la membrana cerámica o las fibras huecas, en tanto que el flujo de levadura pasa sobre éstas.

Este tipo de filtración es llamado filtración tipo Cross Flow o de flujo cruzado (ver al respecto Sección 4.5.2.7). No requiere de medios auxiliares de filtración y gana progresivamente adeptos para la recuperación

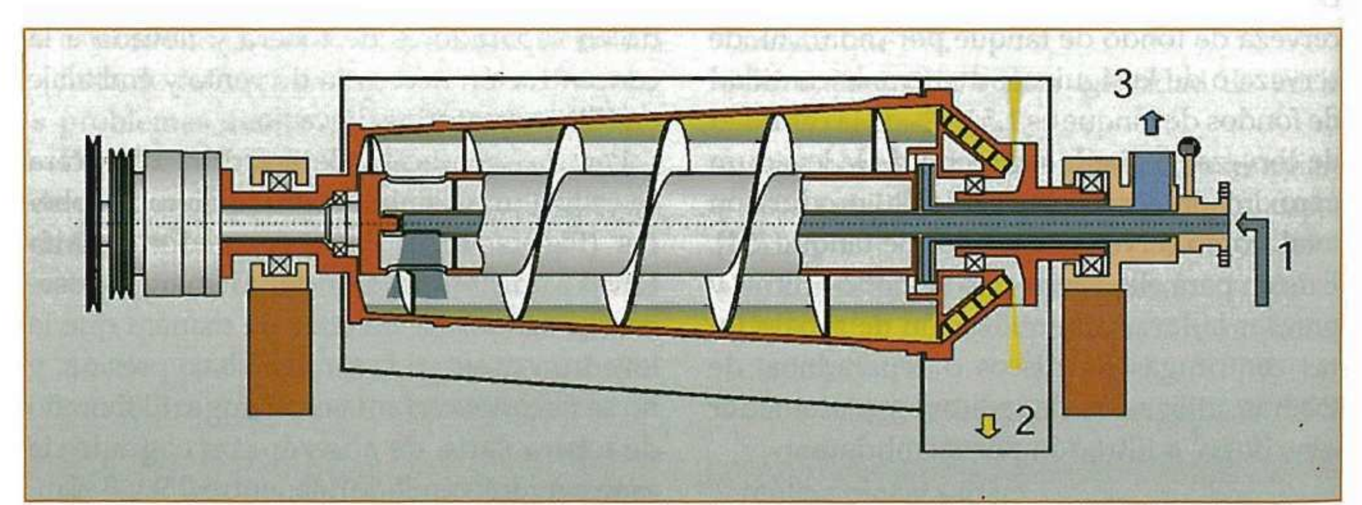


Figura 4.55b: Sedicanter
(1) entrada, (2) extracción de levadura en forma pastosa, (3) descarga de líquido de la centrifugadora, bajo presión

e cerveza de la levadura. Se utilizan para ello membranas de cerámica Membralox (Pall Corporation SeitzSchenk Division, Waldstetten, Alemania) sobre la base de α-óxido de aluminio, las cuales son muy resistentes tanto frente a ácidos como frente a lejías. La capa de separación activa aplicada tiene poros de aproximadamente 0,8 μm de diámetro e impide que células de levadura ingresen al líquido filtrado. El contenido de sólidos de la levadura concentrada por recirculación repetida es aproximadamente 18%.

También es posible, por medio de otra conexión, extraer por lavado el extracto de cerveza de la levadura concentrada.

4.4.6.4 Recuperación de cerveza por medio de sedicanter

Un sedicanter [260] es una centrifugadora horizontal de alta velocidad con una aceleración centrífuga de 6000g. En un decanter normal, que trabaja con una aceleración centrífuga de 4000g, la levadura se deposita en la pared cilíndrica del tambor y es extraída del decanter, por medio de un tornillo sinfín de transporte, a través del tramo seco en la zona cónica del tambor. Sin embargo, con un contenido de sólidos de 20 a 22%, la torta de levadura es muy blanda y por ello no se obtienen resultados satisfactorios. En el sedicanter (Figura 4.55b), por el contrario, en el mayor diámetro con la mayor velocidad, los sólidos son enriquecidos, concentrados (expresado en la figura por el color amarillo) y extraídos continuamente bajo presión en forma pastosa o friable. El contenido de sólidos de la torta de levadura es entonces 26 a 28%; el contenido de sólidos de la cerveza recuperada, 0,1 a 0,3 % en volumen. La absorción de oxígeno es menor que 0,05 ppm.

No se puede recuperar más del 28% de contenido de sólidos. Aun la levadura prensada contiene todavía más del 70% en humedad.

El sedicanter (Empresa Flottweg, Vilsbiburg, Alemania) tiene un caudal de 6 a 10 hl/h (S3E), respectivamente 20 a 25 hl/h (S4E), con una potencia eléctrica instalada de 20 kW, respectivamente 30 kW.

4.4.6.5 Tratamiento de la cerveza de fondos de tanque

La cerveza de fondos de tanque recuperada puede causar grandes problemas biológicos y de sabor si no se hace nada por evitarlo. El valor pH de la cerveza de fondos de tanque frecuentemente está notablemente por encima de 5,0, porque la levadura autolizada ha excretado proteínas, compuestos amargos y ácidos grasos. Los ácidos grasos de cadena media son productos de autolisis de la levadura, los cuales ya en pequeñas cantidades tienen un efecto negativo sobre el sabor y la espuma. En los fondos de tanque debe tenerse mucho cuidado, porque es difícil estimar el grado de la autolisis sin una comprobación exacta.

Tan pronto como el pH excede 4,5, se pueden desarrollar muy bien gérmenes de *megasphaera* (ver Sección 7.4.2) y causar problemas biológicos [158].

Con una porción creciente de células muertas de levadura aumenta también la tendencia al bloqueo en la filtración; con 15 - 20% de células muertas de levadura, tal como aparecen en la cerveza prensada de levadura, disminuye mucho la filtrabilidad.

A los efectos de evitar un menoscabo en el sabor, se agrega por cada 1 hl de cerveza de fondos de tanque

50 g de carbón activado y
50 g de silicagel.

Posteriormente, la cerveza debe ser filtrada a través de kieselgur y pasada por un pasteurizador flash. Luego se introduce la cerveza de fondos de tanque, ahora libre de gérmenes, hasta en un 5% en el tanque de fermentación, con fermentación principal en inicio. La levadura absorbe entonces ávida-

mente los productos de autolisis disueltos en la cerveza de levadura y los procesa a substancias endógenas. De esta manera, queda ampliamente excluida una influencia negativa sobre la calidad de la cerveza, debida a cerveza de fondos de tanque.

4.4.7 Limpieza de los tanques cilindrocónicos

La limpieza de los tanques cilindrocónicos es una tarea muy importante. Dado que la cerveza permanece el mayor tiempo en los tanques, es allí donde más probablemente pueden desarrollarse contaminaciones, dado que la mayoría de éstas encuentra buenas condiciones para vivir. Los microorganismos se establecen sobre todo en "nidos", en los cuales son difíciles de detectar y de destruir totalmente. Y, si se destruyen millones de éstos, alcanza una pequeña cantidad sin destruir para formar en brevísimo tiempo nuevamente millones de células nuevas - disponen para ello cada día de 24 horas, las cuales aprovechan -. Es por ello particularmente importante - y no solamente en los tanques - prestar especial atención a estos lugares. Esto incluye particularmente zonas muertas (Figura 4.55c) con "sombras de rociado", en las cuales pueden desarrollarse bien nidos de contaminación, así como juntas y bridas, en las cuales pequeñas fisuras pueden estimular la formación de películas biológicas que sobreviven sin daño alguno a cualquier limpieza. En tales puntos debe aplicarse una compresión definida [264], que tenga en cuenta la expansión y la compresión, debidas a fluctuaciones de temperatura. Es importante también que todas las plantas, bombas, codos etc., se drenen de forma independiente -también el cabezal rociador en la Figura 4.55c debe tener un orificio de drenaje en la parte más baja -.

Para la limpieza de los tanques y tuberías existen diferentes posibilidades, que son descriptas en las Secciones 6.3 y 6.4. Como norma básica, cada tanque es limpiado luego de cada utilización. Sin embargo hay una serie de casos, en los cuales se puede prescindir de una limpieza intermedia, bajo determinadas condiciones, por motivos de ahorro de costos e impacto ambiental [265]:

- durante pausas cortas, entre el vaciado y el nuevo rellenado del tanque,
- en el caso de depósitos moderados de suciedad en las paredes del tanque y
- para mantener la sobrepresión del CO_2 en el tanque a llenar nuevamente.

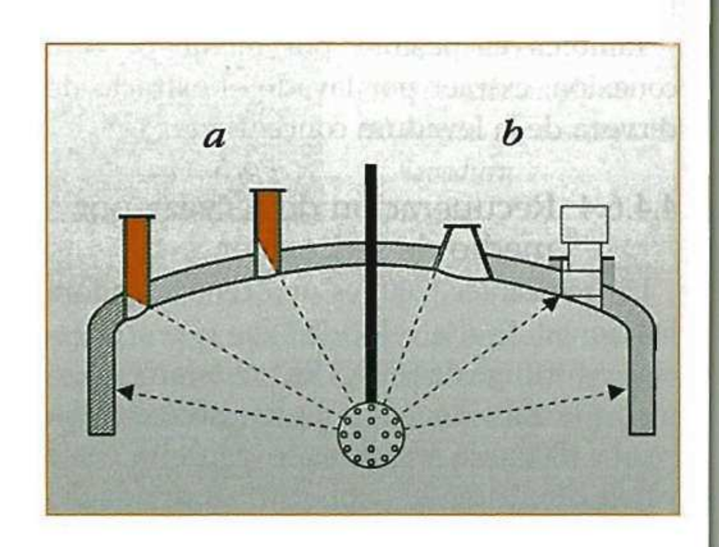


Figura 4.55c
Evitación de zonas muertas en tanques
(a) zona muerta, (b) pico cónico y elementos montados al ras

4.4.8 Recuperación de CO_2

Hemos visto en la Sección 4.3.1.2 que durante la fermentación principal en la cava de fermentación convencional se forman aproximadamente 4 kg de CO_2. Éstos nos causan allí algunas preocupaciones, porque el CO_2 es un veneno de respiración que debe ser extraído. Por otro lado, la fábrica de cerveza compra el CO_2 costoso, porque se lo necesita para muchos procesos, por ejemplo para:

	kg CO_2/hl
establecimiento de contrapresión y vaciado a presión (de tanque de reposo)	0,35-0,50
establecimiento de contrapresión y vaciado a presión (de recipiente de filtro)	0,40-0,50
tanque de presión	0,30-0,50
establecimiento de contrapresión de llenadora de botellas, sin preevacuado	0,18-0,22
establecimiento de contrapresión de llenadora de botellas, con preevacuado	0,35-0,40
llenadora de kegs con contrapresión	0,90-1,10
llenadora de latas	0,60-0,80
poscarbonatación	0,10-0,20
carbonatación total	0,50-0,70
camión cisterna	0,30-0,50
dispensador	0,20-0,50
llenado de botellas de gaseosas	0,60-0,70

Esto es una gran cantidad de CO_2 que se necesita. Pero algunos de los valores dados son alternantes; es decir, se excluyen mutuamente. Por carbonatación (ver Sección 4.7) se entiende la adición de CO_2 a la cerveza para obtener el contenido de CO_2 deseado.

Se puede calcular que en total se requieren aproximadamente 1,8 - 2,0 kg de CO_2/hl de cerveza.

Durante la fermentación y maduración en el tanque cilindrocónico, el CO_2 se produce en forma concentrada y se lo puede extraer y acumular bien. Por supuesto que no se puede esperar recuperar el CO_2 sin pérdidas. Pero en la práctica se calcula con aproximadamente 2 kg de CO_2 recuperables por cada 1 hl de cerveza. Esto corresponde aproximadamente al consumo propio.

Muchas fábricas de cerveza con tanques cilindrocónicos han pasado por ello a asegurar el consumo propio a través de una planta propia de recuperación de CO_2.

Una planta recuperadora de CO_2 (Figura 4.56) está compuesta por un separador de espuma (1), intercalado, en el cual se separan partículas de espuma arrastradas, en tanto que el gas se acumula en el gran tanque de CO_2 (2). Naturalmente que el lunes a la mañana es cuando éste está más lleno y en el transcurso de la semana pierde en contenido. El recipiente de gas es el tanque buffer necesario para la acumulación de gases. En el lavador de gases (3) se libera al CO_2 de contaminaciones solubles en agua. Un compresor (4) aspira el CO_2 y lo comprime en dos etapas a la presión de licuación de 18-22 bar. Dado que el gas se calienta fuertemente en este proceso, se lo debe enfriar en refrigeradores intercalados detrás (5). En las subsiguientes torres de secado (6), que son utilizadas en forma alternada, se le extrae al CO_2 la humedad aún contenida. Como medio para esto se utilizan generalmente silicagel o alúmina. En el posterior sistema de filtro de carbón activado (7), que también es operado de manera alternada, se adsorben substancias aromáticas indeseadas aún contenidas. En la planta de licuación de CO_2 (8), se condensa luego el CO_2 comprimido a bajas temperaturas, que son generadas por una planta frigorífica (9). El líquido es almacenado transitoriamente en un tanque de almacenamiento de CO_2 (10) y podrá ser extraído nuevamente para su uso inmediato en la fábrica de cerveza.

4.4.9 Levaduras inmovilizadas

Ya desde hace mucho tiempo está el deseo de inmovilizar levadura por unión a un portador. El empleo de células de levadura inmovilizadas es del máximo interés para el cervecero: la fermentación ocurre en breve tiempo, pero la levadura puede ser utilizadada durante mucho tiempo. Gracias al reducido tamaño de la colonia de levadura,

disminuye considerablemente todo el gasto en aparatos.

Primeramente es decisiva la inmovilización de la levadura sobre un material portador macroporoso. Un posible portador es vidrio sinterizado macroporoso "Siran" (Schott Engineering, Mainz). Para la fabricación se utiliza polvo de vidrio, que es mezclado y sinterizado (cocido) con sal. Posteriormente se extrae por lavado la sal soluble, de manera que se pueden obtener –según la porción de sal y el tamaño de grano– partículas con volúmenes de poro y distribución de tamaños de poro muy diferentes. La Figura 4.57 muestra un grano tal de Siran, que tiene un diámetro de esfera de 1-2 mm, con poros de 60-300 µm.

Bajo la lente de aumento, los poros tienen una apariencia muy ramificada y acomodan la levadura en muchos lugares dentro de sí mismos. La levadura se deposita sobre el material, pero no toda cepa de levadura tiene tendencia a asentarse en forma permanente por excreción de substancias que permitan adherirse. Pero cuando ya se ha asentado (Figura 4.58), la levadura puede trabajar durante mucho tiempo sin ser reemplazada. Existe siempre un equilibrio entre las células de levadura que son extraídas por lavado con el medio y aquellas que continúan creciendo sobre el portador.

Pero, en caso de necesidad, también es posible extraer la levadura por lavado con productos químicos apropiados y cargar nuevamente el portador luego de un proceso de neutralización.

Hoy en día se emplean levaduras inmovilizadas, sobre todo para la fabricación de cerveza libre de alcohol (ver Sección 4.9.3.3.1.3).

Pero, en casos individuales, también para la fermentación o para la degradación del diacetilo se utilizan reactores, en los cuales los granos enriquecidos con levadura inmo-

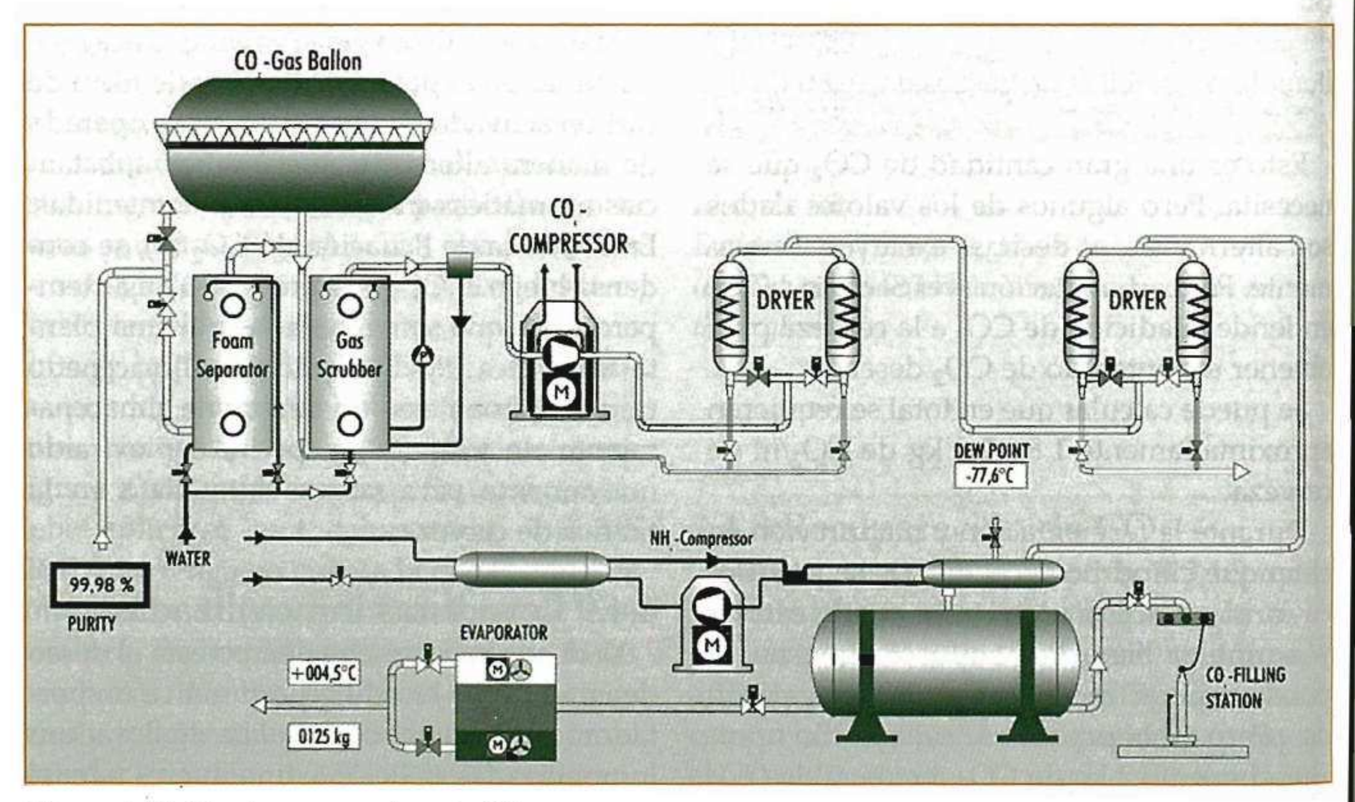


Figura 4.56: Planta recuperadora de CO_2
(1) separador de espuma, (2) balón de gas, (3) lavador de gas, (4) compresor de gas con refrigerador, (6) secador, (7) filtro de carbón activado, (8) planta de licuación, (9) compresores, (10) tanque de acumulación de CO_2

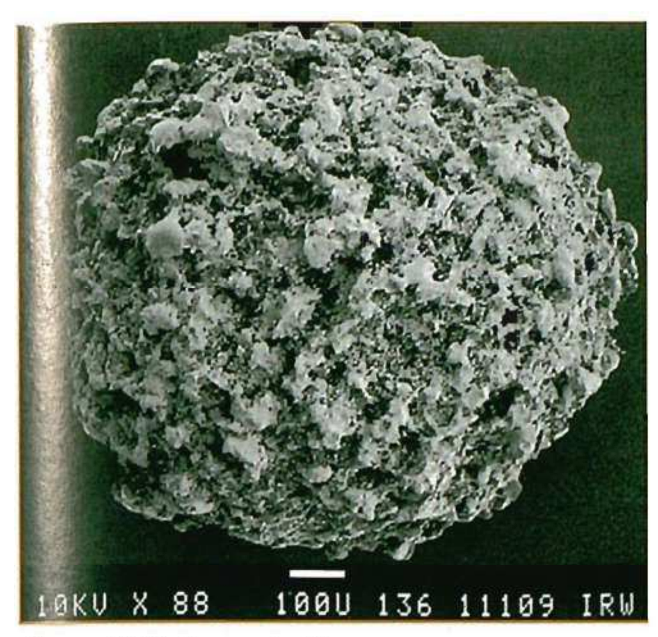


Figura 4.57: Grano de Siran
(Fotografía con microscopio electrónico de barrido Forschungszentrum Jülich/Schott Engineering, Mainz)

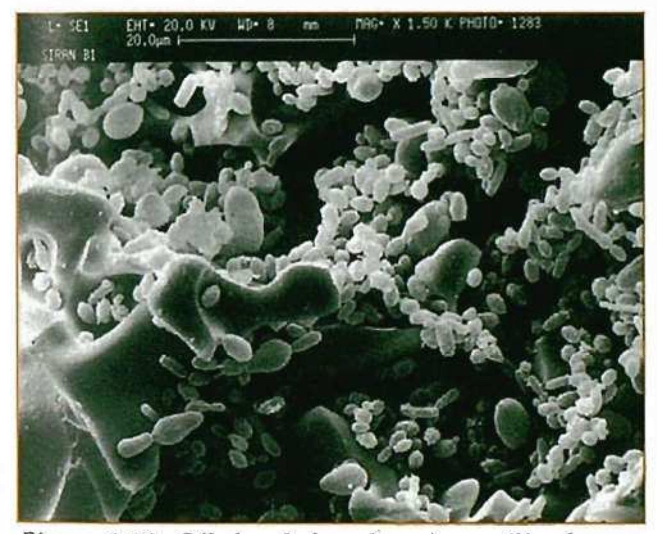


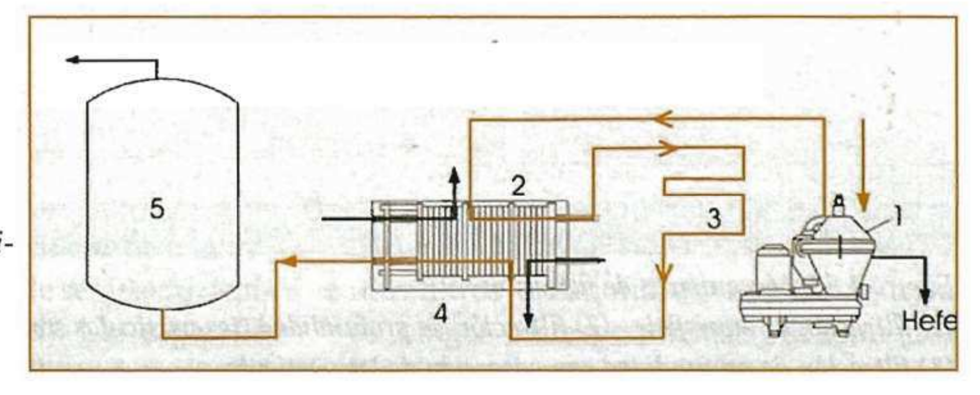
Figura 4.58: Células de levadura inmovilizadas, sobre un grano de Siran
(Fotografía con microscopio electrónico de barrido Forschungszentrum Jülich/Schott Engineering, Mainz)

vilizada se encuentran formando pilas de varios metros de altura y son atravesados lentamente por el mosto o la cerveza.

De esta manera se puede acortar extraordinariamente, por calentamiento, la degradación del acetohidroxiácido a diacetilo (ver Sección 4.1.3.1), la cual dura mucho bajo condiciones normales de fermentación y maduración. Para ello tampoco se necesita levadura. La degradación del diacetilo a acetoina y butandiol, que poseen un muy alto umbral organoléptico, puede suceder entonces muy rápidamente.

En un proceso tal (Figura 4.58a, Alpha-Laval/Schott Engineering) se separa mosto fermentado normalmente de la levadura por separación centrífuga (1); la cerveza es calentada en un intercambiador de calor (2) a 80°C, manteniéndose la temperatura durante 10 min (3). En esto ocurre la degradación del acetohidroxiácido a diacetilo. En la segunda zona del intercambiador de calor se disminuye nuevamente la temperatura a aproximadamente 15°C (4) y la cerveza es ahora conducida a un reactor de lecho fijo (5). En este reactor, la cerveza atraviesa lentamente, desde abajo hacia arriba, una capa de Siran de varios metros de altura con levadura inmovilizada, la cual degrada así totalmente el diacetilo. La cerveza es acumulada en tanques buffer y se la continúa procesando como es usual.

Figura 4.58a: Proceso de maduración acortado, con levadura inmovilizada
(1) separadora centrífuga
(2) intercambiador de calor
(3) dispositivo de mantenimiento de temperatura
(4) refrigerador
(5) reactor de lecho fijo



4.5 Filtración de la cerveza

Al finalizar el proceso de maduración, la cerveza está libre de oxígeno, pero aún quedan contenidas por cada ml hasta 1 millón de células de levadura y otras partículas de turbidez como sólidos en suspensión, los cuales deben ser extraídos sin que tenga acceso a la cerveza el oxígeno deteriorante.

4

La filtración es un proceso de separación, en el cual se extraen las células de levadura y otras substancias de turbidez aún contenidas en la cerveza. En este proceso también se separan aquellas substancias, que de lo contrario precipitarían por sí solas en el curso de las próximas semanas y meses y causarían turbidez en la cerveza.

El objetivo de la filtración es hacer que la cerveza sea conservable de manera tal que por un tiempo prolongado no se produzcan cambios visibles.

4.5.1 Posibilidades de filtración

La filtración ocurre de manera tal que la cerveza aún turbia (líquido no filtrado) es separada por un medio filtrante en un líquido filtrado clarificado y un residuo de filtración o torta filtrante, que queda retenido.

Según el objetivo de clarificación, se diferencia en esto entre filtración gruesa, fina o esterilizante, con todas las etapas intermedias. El caudal específico del filtro (en hl/h*m² de superficie filtrante) disminuye con el aumento de la finura de filtración, dado que la filtración más fina requiere obligadamente poros más pequeños. Por ello, se necesita un medio filtrante para la filtración, cuyo efecto filtrante, en algunos casos, debe ser apoyado por un medio auxiliar de filtración.

La filtración es impulsada por una presión diferencial entre la entrada del filtro y la salida del mismo. La presión del lado de entrada es siempre mayor que la presión del lado de salida. Cuanto mayor es esta diferencia de presión tanto mayor es la resistencia ejercida por el filtro a la filtración. Esta presión diferencial aumenta fuertemente hacia el final de la filtración.

4.5.1.1 Mecanismos de separación

En la filtración usual, la cerveza sin filtrar es pasada a través de un medio filtrante, siendo extraídas por filtración las partículas enturbiantes (células de levadura, partículas turbias) (filtración terminal o dead end).

Se diferencia aquí entre los siguientes mecanismos de separación (Figura 4.59):

- ***Filtración de tamiz o de superficie (1):*** las partículas no pueden atravesar los poros del medio filtrante y son retenidas en una capa que aumenta progresivamente de espesor. La filtración es cada vez más fina, pero cada vez pasa menos.

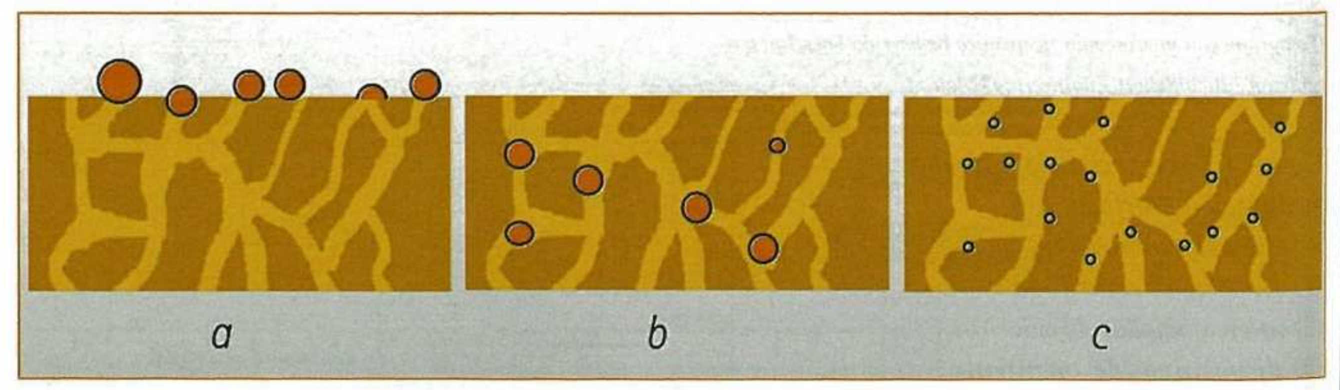


Figura 4.59: Mecanismos de filtración
(1) filtración de superficie, (2) filtración de profundidad (las partículas son retenidas mecánicamente), (3) filtración de profundidad con adsorción de las partículas

- *Filtración de profundidad:* cada vez más se utilizan mecanismos de separación, que están compuestos por materiales altamente porosos, los cuales obligan al líquido a recorrer caminos tortuosos, debido a su superficie muy grande y a su estructura laberíntica.
  - Por medio de un efecto mecánico de tamiz, se retienen aquí partículas debido a su tamaño, las cuales taponan lentamente los poros (2), reduciendo con ello el caudal del filtro; o
  - se retienen partículas finas por adsorción (3); esta adsorción ocurre debido a diferentes cargas eléctricas.

Los efectos de tamiz y de adsorción son utilizados generalmente en forma combinada.

En la filtración tipo cross flow (ver Sección 4.5.2.7), la cerveza sin filtrar fluye sobre una membrana. En tanto que sólo difunde cerveza pura a través de los poros finos de la membrana, la cerveza enriquecida con substancias enturbiantes se escurre. Este proceso se repite varias veces.

4.5.1.2 Medios filtrantes

Como medios filtrantes se utilizan:

- Tamices de todo tipo, por ejemplo: metálicos, cribas de barras o disposición paralela de alambres trapezoidales en filtros de velas.
- Tejidos metálicos o textiles; aquí, los tejidos metálicos se dejan limpiar y desinfectar más fácilmente, pero los tejidos textiles modernos, por ejemplo, sobre la base de polipropileno, son casi equivalentes en muchas posiciones (ver filtro de templa). Sin embargo, no se los utiliza en la filtración de cerveza, porque no se los puede esterilizar tan bien.
- Capas filtrantes de celulosa, algodón, kieselgur, perlita, fibra de vidrio u otro material (el amianto ya no puede ser usado debido al riesgo para la salud). Las capas filtrantes se ofrecen y se utilizan hoy en día ampliamente, con diferentes grados de filtración que llegan hasta la filtración esterilizante.
- Lechos a granel, por ejemplo: filtros de grava para la filtración de agua y precapas de medios auxiliares de filtración.
- Masas porosas, tales como metales sinterizados o vitrificables, que son utilizadas para la atomización de aire, y progresivamente
- membranas: se las fabrica de poliuretanos, poliacrilato, poliamidas, polietileno, policarbonato, acetato de celulosa y cada vez más con otros materiales, como α-alúmina procesada especialmente con tamaños de poro de 0,4 - 0,6 µm. Las membranas son muy delgadas (0,02 a 1 mm) y se las aplica por este motivo sobre soportes de porosidad gruesa, dado que si no se romperían. En lugar de las membranas hoy en día se utilizan, cada vez más, materiales cerámicos. Dado que las membranas se tapan cada vez más con filtración en aumento, se las debe limpiar regularmente con ácido u otros medios; esto presupone una fuerte resistencia por parte de las membranas.

La fabricación de las membranas se realiza por impregnación, rociado o deposición.

Los poros en sí son formados

- por incrustación y posterior disolución de sales formadoras de poros o
- por ataque con ácido.

De acuerdo con los diferentes materiales de fabricación, hoy en día es posible fabricar membranas con cualquier tamaño de poro deseado (Figura 4.60) y se pueden así extraer por filtración substancias del tamaño de molécula deseado [115].

Dado que se debe trabajar en estos filtros con poros muy finos, se habla de

- microfiltros, cuando se trata de rangos correspondientes a los µm (10^{-1} a 10^{2} µm), y de
- ultrafiltros o nanofiltros, cuando se trata de rangos correspondientes a los nm (10^{-3} bis 10^{-1} µm).

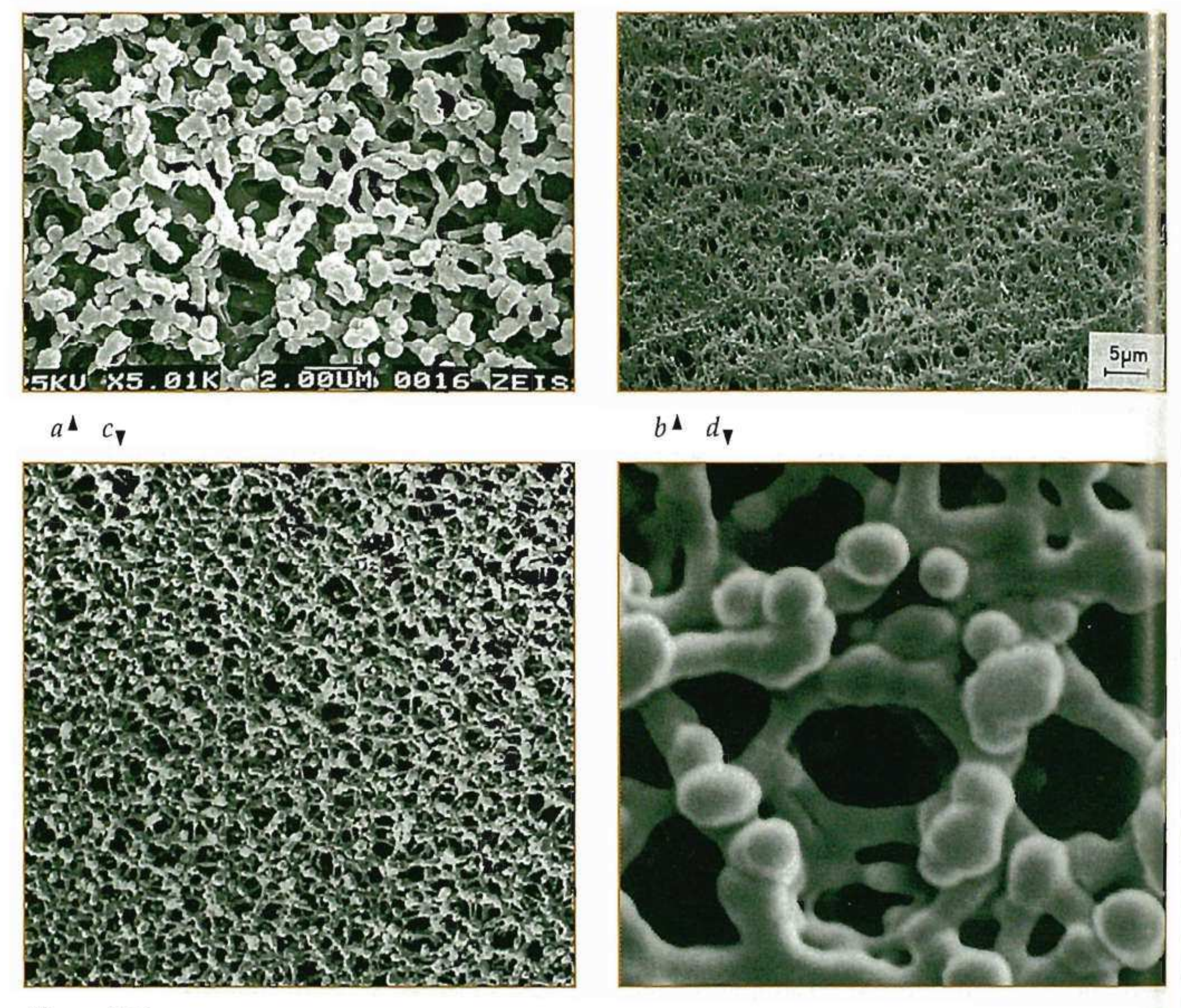


Figura 4.60
a) membrana de éster de celulosa (aumentada aproximadamente 1000x), b) membrana de difluoruro de polivinildeno (aumentada aproximadamente 1000x), c) membrana de polisulfona (aumentada aproximadamente 1000x), d) membrana de polisulfona (aumentada aproximadamente 10000x)
(Fotografías con microscopio electrónico de barrido: a+b Schenk Filterbau GmbH, Waldstetten, c+d Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)

La Figura 4.61 pone en claro los rangos de tamaño de las partículas y los poros con los cuales trabajamos aquí. Se debe tener en cuenta en esto que cada sección parcial hacia la izquierda es ya sólo la décima parte de la sección parcial previa. Es decir, que con estas membranas trabajamos con poros extremadamente finos.

4.5.1.3 Medios auxiliares de filtración

Los medios auxiliares de filtración son substancias pulverulentas, como kieselgur o perlita, que son depositadas sobre un medio filtrante (tejido o capa) y hacen posible la filtración debido a su forma y estructura. Los medios auxiliares de filtración no son utilizables sin medios filtrantes.

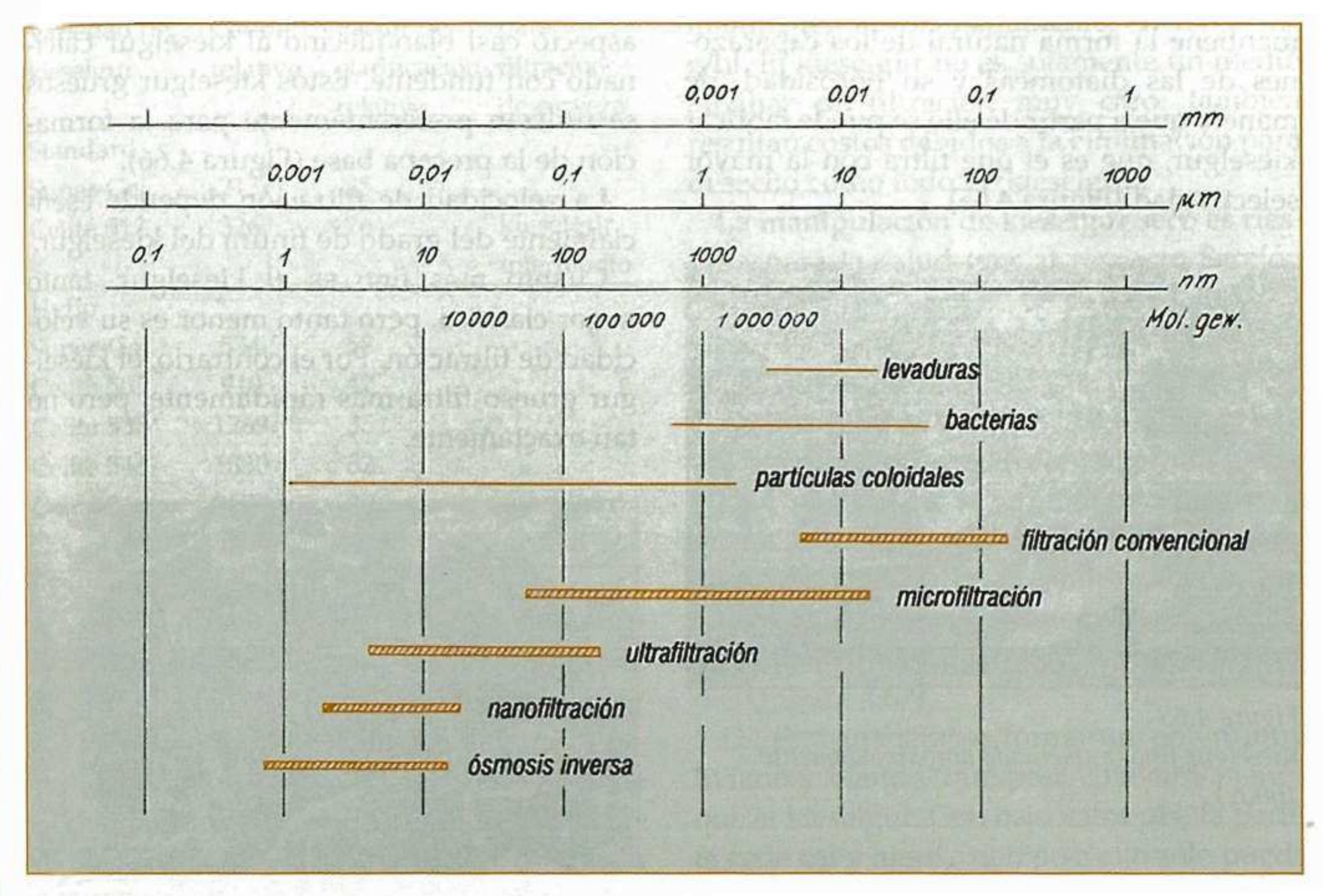


Figura 4.61: Rangos de tamaños de partículas y poros filtrantes

Como medios auxiliares de filtración se emplean en la fábrica de cerveza:

- kieselgur para la filtración de la cerveza y
- perlita para la filtración de mosto.

4.5.1.3.1 Kieselgur (tierra de diatomeas o de infusorios)

Por kieselgur se entienden los fósiles de diatomeas unicelulares de dióxido de silicio (SiO_2), de las cuales hay más de 15000 especies en el mar. Deben haber aparecido hace millones de años en diferentes mares, o partes de ellos, en cantidades tales que sus fósiles cubrieron el fondo del mar con capas muy gruesas en el transcurso del tiempo.

Debido a desplazamientos en la superficie de la Tierra, hay depósitos de kieselgur de varios cientos de metros de espesor, como en Lompoc, California/EE.UU. Sin embargo, en muchos depósitos no vale la pena la extracción por motivos económicos: la extracción se realiza hoy en día en Lompoc, California, nombrado antes,

Jalisco, México
Myvatn, Islandia
Murat, Francia
Alicante, España
Arica, Chile, así como en dos plantas en China.

La extracción ocurre en explotación a cielo abierto con potentes excavadoras y enormes camiones que transportan el material, clasificado según calidad, a silos naturales. Hay tres variantes diferentes de tratamiento del kieselgur [160]:

Kieselgur secado

Aquí, la materia prima es rota y secada en el horno de tambor a 400°C. En ese estado se

mantiene la forma natural de los caparazones de las diatomeas y su porosidad, de manera que a partir de ello se puede fabricar kieselgur, que es el que filtra con la mayor selectividad (Figura 4.65).



Figura 4.65
Kieselgur fino (aumentado aproximadamente 1000x)

Kieselgur calcinado

Para poder fabricar un kieselgur que filtre más rápidamente, se calienta el kieselgur secado hasta una temperatura de 800°C. En este proceso sinterizan las superficies de las partículas de kieselgur entre sí y se forman partículas de mayor tamaño. Se mantiene en este proceso la estructura porosa interna y su actividad de filtración.

Kieselgur calcinado con fundente

Para la fabricación de kieselgur que filtre aún más rápidamente, se agrega cloruro de sodio o carbonato de sodio, como fundente, al kieselgur en estado de materia prima en el horno de tambor. De esta manera desciende el punto de fusión del dióxido de silicio (del cual están compuestas las diatomeas) y se calcina a 800-900°C. En este proceso se forman conglomerados aún más grandes por sinterizado. En esto, substancias secundarias inorgánicas, tales como óxidos de hierro y aluminio, son transformadas en silicatos mixtos difícilmente solubles, que otorgan un aspecto casi blanquecino al kieselgur calcinado con fundente. Estos kieselgur gruesos se utilizan preferentemente para la formación de la precapa base (Figura 4.66).

La velocidad de filtración depende esencialmente del grado de finura del kieselgur.

Cuanto más fino es el kieselgur, tanto mejor clarifica, pero tanto menor es su velocidad de filtración. Por el contrario, el kieselgur grueso filtra más rápidamente, pero no tan exactamente.



Figura 4.66
Kieselgur grueso (aumentado aproximadamente 1000x)
(Fotografía con microscopio electrónico de barrido Schenk Filterbau GmbH, Waldstetten)

De acuerdo con esto, el caudal y el factor de clarificación se encuentran relacionados opuestamente entre sí, tal como lo muestra el siguiente estudio:

Variedad de kieselgur	Caudal relativo	Factor de clarificación relativo	para filtración de cerveza
Filter-Cel	100	100	kieselgur fino
Celite 577 y 505	115	98	

Variedad de kieselgur	Caudal relativo	Factor de clarificación relativo	para filtración de cerveza
Standard			
Super-Cel	213	85	
Celite 512	326	76	kieselgur intermedio
Hyflo			
Super-Cel	534	58	
Celite 503	910	42	
Celite 535	1269	35	
Celite 545	1830	32	
Celite 560	2670	29	kieselgur grueso

La gran porosidad es la propiedad más importante del kieselgur. Como resultado de esta porosidad y de la forma particular de los caparazones de diatomeas, una torta filtrante hecha de kieselgur forma una capa de porosidad muy fina, que puede retener partículas causantes de turbidez de hasta 0,1mm de tamaño.

La superficie del kieselgur puede ser de hasta 20m²/g. Está con ello considerablemente por debajo de la capacidad de adsorción de los silicageles (400-700m²/g). Es por ello que la capacidad de adsorción del kieselgur es también muy reducida.

Sin embargo, es importante que el kieselgur esté libre de todo tipo de agregados.

Una característica importante desde el punto de vista económico del kieselgur es la densidad húmeda. Se entiende por ello el volumen que ocupa el kieselgur bajo presión. La densidad húmeda se indica en g/l. Los kieselgur más apropiados son los que poseen una densidad húmeda menor que 300 g/l para la filtración. En el caso de una densidad húmeda mayor, se debe calcular con una mayor utilización de kieselgur y un mayor incremento de la presión para lograr el mismo efecto de clarificación con igual caudal. El consumo de kieselgur puede fluctuar entre 80 y 200 g/hl, encontrándose normalmente, aproximadamente, en 150 a 180 g/hl. El kieselgur no es solamente un medio auxiliar de filtración muy caro; también resultan costos debidos a la eliminación para desecho como lodo de kieselgur.

La manipulación de kieselgur seco es riesgosa para la salud (ver al respecto Sección 4.9.3)

4.5.1.3.2 Perlita

La perlita es un material de origen volcánico, que está compuesto preponderantemente de silicato de aluminio. La materia prima perlita es calentada a 800°C. El agua encerrada en ésta se expande y conduce al hinchamiento y reventamiento de la perlita. Las estructuras vítreas formadas son molidas (Figura 4.67).

De esta manera se forma un polvo muy liviano y blando, que pesa 20 a 40% menos que el kieselgur. Con bajo valor pH, la perlita cede cal y hierro; debido a ello sólo puede ser empleada para la filtración de mosto, dado que allí el pH aún se encuentra en 5,4 a 5,5.

También con la perlita la velocidad de filtración depende de la variedad.



Figura 4.67: Perlita (aumentada aproximadamente 1000x)
(Fotografía con microscopio electrónico de barrido Schenk Filterbau GmbH, Waldstetten)

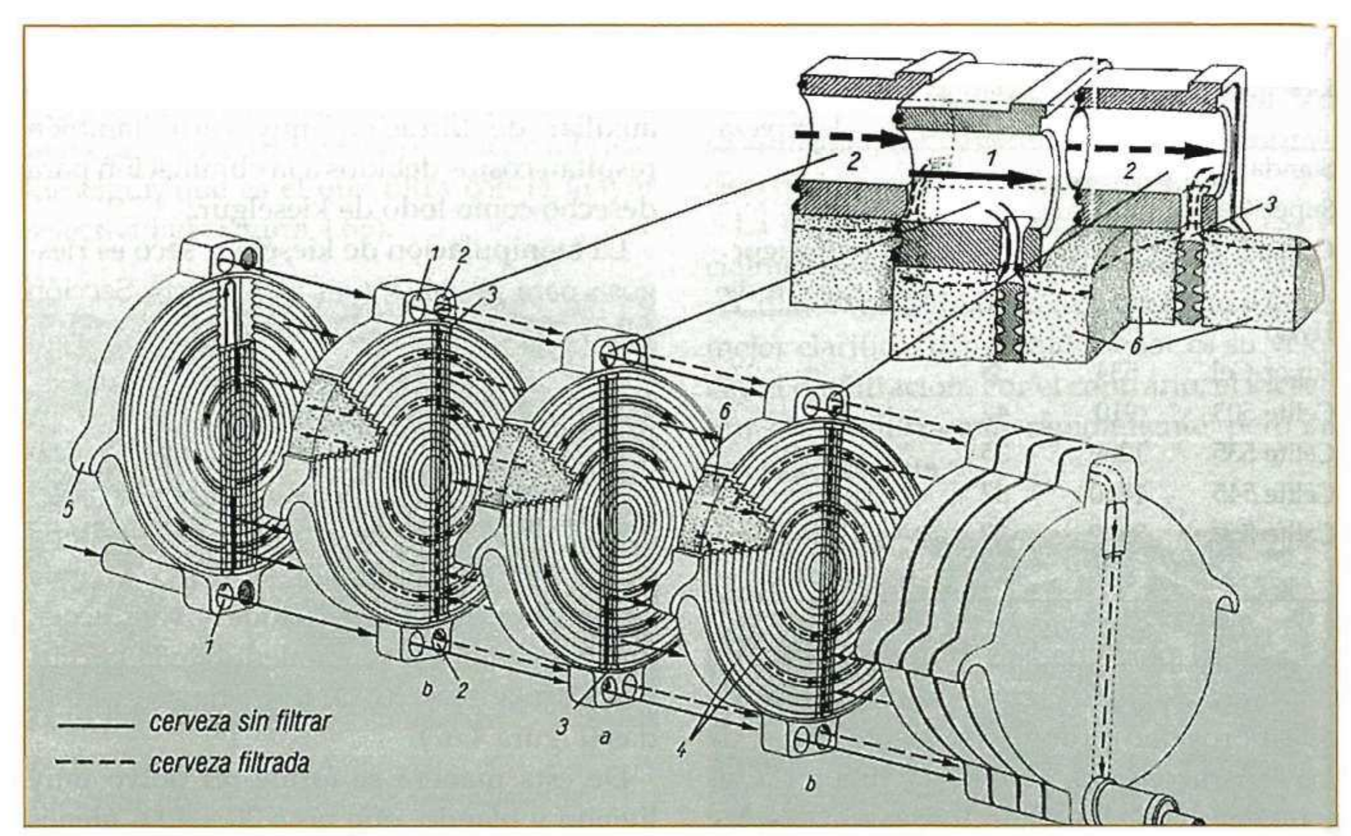


Figura 4.68
Flujo de cerveza a través del filtro de masa
a) sección de filtro I, b) sección de filtro II, (1) canal para cerveza sin filtrar, (2) canal para cerveza filtrada, (3) abertura de distribución, (4) ranuras de distribución, (5) suspensión, (6) masa filtrante

4.5.2 Tipos de filtros

Para los propósitos de filtración en la fábrica de cerveza, se usan los siguientes filtros:

- filtros de precapa:
  - con placas y marcos,
  - con velas filtrantes,
  - con discos filtrantes,
  - filtros de hojas,
- filtros de placas,
- filtros de cámara (por ejemplo, filtro de templa),
- filtros seccionales (por ejemplo, filtro de masa) y
- filtros de membrana.

Para la filtración de cerveza se utilizan hoy en día casi únicamente filtros de precapa, filtros de placas y filtros de membranas; el filtro de masa, que dominaba durante décadas en la filtración de cerveza, es raramente utilizado hoy en día.

Este tipo de filtro, en el cual la filtración ocurre a través del medio filtrante, se denomina filtro estático o filtro terminal (tipo dead end).

4.5.2.1 Filtro de masa

El filtro de masa ya prácticamente no existe. A pesar de ello, debe abordarse aquí esta cuestión, dado que ha dominado por décadas la filtración.

En la filtración de masa, la cerveza es conducida a través de una capa filtrante de aproximadamente 6 cm de espesor (torta de masa filtrante), y así es filtrada (Figura 4.68).

La masa filtrante está compuesta por línteres de algodón, a los cuales se les adicionaba un 1% de amianto a los efectos de obtener

la filtración más fina. Pero, ya antes de la prohibición del uso de amianto, el filtro de masa había desaparecido de la fábrica de cerveza por ser muy grande el esfuerzo de trabajo con el mismo y, con ello, muy elevados los costos:

- luego de cada filtración, el filtro debe ser desempacado,
- las tortas de masa deben ser desarmadas, lavadas y esterilizadas,
- la masa filtrante debe ser comprimida como torta de masa filtrante y
- el filtro debe ser empacado nuevamente.

Aparte de ello, se agrega una serie de trabajos secundarios, que ya en su totalidad requieren, en una fábrica mediana de cerveza, un trabajador aparte.

Como desventajas del filtro de masa, se nombran:

- alto esfuerzo manual para la regeneración del filtro,
- gran demanda de energía para el lavado de la masa,
- gran demanda de agua para el lavado de la masa,
- superficie filtrante y capacidad filtrante demasiado reducidas.

Aun así, el filtro de masa no ha muerto totalmente, dado que debe al menos aclararse que la fábrica de cerveza Coors en la mayor planta cervecera del mundo en Golden/Colorado aún hoy filtra exclusivamente los 23,2 millones de hl de cerveza (1965) fabricados allí con filtros de masa (Enzinger). Y continuará haciéndolo así.

4.5.2.2 Filtro de precapa

Los filtros de precapa son filtros en los que la filtración se realiza a través de un medio auxiliar de filtración –generalmente kieselgur o perlita–, que se deposita sobre el medio filtrante.

La formación de la precapa es necesaria, porque las partículas del medio auxiliar de filtración son muy pequeñas para una dosificación continua, de manera que no son retenidas por el medio filtrante en sí. Por ello, debemos diferenciar en los filtros de precapa entre:

- la formación de la precapa de filtración y
- la filtración en sí.

4.5.2.2.1 Formación de precapa

4.5.2.2.1.1 Principio básico de la formación de precapa

La filtración por kieselgur se realiza a través de tejidos trenzados de malla fina, con aberturas de malla de 70 a 100 μm, u otros medidos filtrantes de abertura fina. Pero todos ellos tienen aberturas mucho más grandes que las pequeñas diatomeas con 2 a 4 μm de tamaño de partícula. Si se dosificara únicamente, el kieselgur pasaría sin impedimento a través del tejido y la cerveza se enturbiaría aún más de lo que ya estaba previamente.

4.5.2.2.1.2 Formación de precapa base y dosificación continua

Para lograr un efecto de filtración perfecto, se forma una torta filtrante formada por tres precapas:

- ► Precapa base, primaria o previa: se envía por circulación, a través del filtro, agua desgasificada o cerveza filtrada con una suspensión concentrada de kieselgur grueso, con una presión 2 a 3 bar (m). En este proceso se forma una capa primaria, estable a la presión, que debe evitar el ingreso de medios auxiliares de filtración muy finos al líquido filtrado. Esta capa primaria es el elemento más importante para la formación ulterior de la torta y para la filtración en sí. Las partículas de esta capa primaria se apoyan mutuamente y se impiden mutuamente continuar fluyendo (Figura 4.69).

  Para la formación de precapa primaria se utilizan aproximadamente 700 a 800 g/m². Esto es aproximadamente el 70% de la precapa base.

- Segunda precapa base o capa de seguridad: sirve para que ya sea clarificado el primer líquido filtrado después de la formación de precapa base. Esta capa también es aplicada con agua desgasificada o con cerveza filtrada, pero para esto se emplea una mezcla de kieselgur más fina y que filtra más activamente para que sean retenidas las substancias enturbiantes y se evite un bloqueo del filtro. Tiene una gran importancia la distribución totalmente homogénea de la precapa base sobre toda la superficie filtrante. Partes más delgadas o bordes en la precapa base causan irregularidades en el pasaje de líquido y eventualmente hasta turbidez.

La precapa base completa tiene finalmente aproximadamente 1000 g/m² y un espesor de 1,5 a 3 mm. El proceso dura aproximadamente 10 a 15 min.

- Dosificación continua: sirve sobre todo para mantener la permeabilidad de la precapa luego de la conmutación a filtración con caudal constante. El caudal constante es necesario, porque, en el caso de golpes de ariete e irregularidades en el desarrollo, se romperían los puentes de la precapa formados sobre el tamiz o las velas, y la cerveza se enturbiaría. Esto debe ser evitado en cualquier circunstancia. El caudal uniforme requiere, sin embargo, un incremento continuo de la diferencia de presión entre la presión de entrada y la de salida. Es deseable que este aumento de presión ocurra en forma lenta y continua hasta una sobrepresión

  - de 2 a 5 bar en filtros de precapa con placas y marcos y
  - de 6 a 8 bar en filtros de precapa con recipiente de filtro.

La presión diferencial debe crecer en promedio, como máximo, 0,2 a 0,3 bar por hora (cerveza filtrable de forma normal). Respecto de la composición de la mezcla de kieselgur, decide la planta sobre la base de su experiencia. Normalmente una dosificación continua se compone de

- 2/3 de kieselgur medio y
- 1/3 de kieselgur fino.

El consumo de kieselgur en la dosificación continua se encuentra entre 60 y 120 g/hl de cerveza.

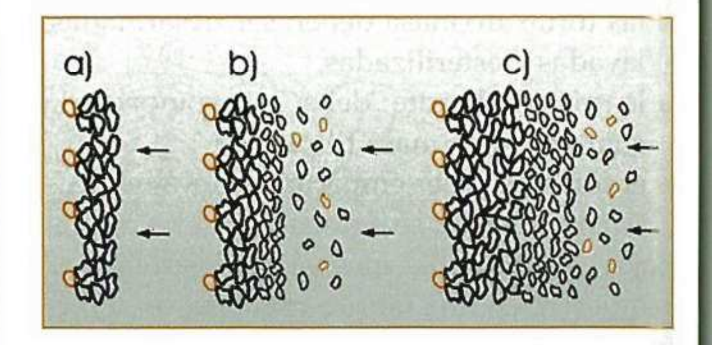


Figura 4.69
Formación de la precapa de kieselgur
(a) formación de precapa base, (b) 2ª precapa base, (c) dosificación continua

4.5.2.2.1.3 Oxígeno durante la filtración

A esta primera fase de la filtración –formación de 1ª y 2ª precapa base y comienzo de la dosificación continua– le corresponde una gran importancia desde el punto de vista de la absorción indeseada de oxígeno y con ello de la disminución de calidad.

Al final de la fermentación y la maduración, el contenido de O_2 ha disminuido a 0,0 a 0,01 mg de O_2/l.

Es posible, pero muy difícil, mantener este valor. Pero luego no hay posibilidad alguna de extraer el oxígeno nuevamente disuelto.

El ingreso de oxígeno ocurre principalmente:

- por introducción de burbujas de aire desde espacios huecos que no han sido desaireados completamente,
- por utilización de agua que no ha sido totalmente desgasificada,
- por utilización de CO_2 ya mezclado con aire,

- por los espacios huecos del mismo kieselgur y
- por partes no herméticas.

Dado que estamos ahora peleando por cada centésima de mg de O_2/l, pequeñas cantidades de aire ya son importantes.

Sobre la base del siguiente cálculo, se aclarará en cuánto influye también un pequeño ingreso de aire:
El aire contiene un 23,01% en peso de oxígeno = 20,93% en volumen; 1 m^3 de aire pesa 1,29 kg.
23,01% de esta cantidad es 0,297 kg = 300g.
A 1 bar, 1 m^3 de aire contiene 300 g de O_2,
1 l de aire contiene 300 mg de O_2.
A 0,5 bar (m) = 1,5 bar, este litro contiene
$300 \cdot 1{,}5 = 450$ mg de O_2.
Si esta cantidad de aire se mezcla, entonces hay contenidos
en 450 l = 4,5 hl = 1,01 mg de O_2/l
ó
en 4500 l = 45,5 hl = 0,10 mg de O_2/l
ó
en 45000 l = 450,5 hl = 0,01 mg de O_2/l.
El ejemplo muestra que ya una pequeña burbuja de aire de un litro alcanza para aumentar visiblemente el contenido de oxígeno en una cantidad tan grande de cerveza.

Es por ello que en la formación de la precapa base se utiliza agua desgasificada y biológicamente impecable y CO_2, como gas de contrapresión. Veremos que la separación del agua y la cerveza, sin pérdidas, es problemática en este proceso.

También al final de la filtración se debe tratar cuidadosamente la cerveza residual resultante. Esto vale también para el tratamiento de las mezclas inicial y final; estas partidas de mezcla son generalmente muy ricas en oxígeno y su estructura coloidal ya no es normal. Por ello se está interesado en obtener una filtración libre de mezclas inicial y final, y así no tener partida alguna de mezcla.

Cada introducción de oxígeno en la cerveza durante la filtración tiene un efecto más deteriorante sobre la cerveza que antes del proceso de filtración. Por medio de las siguientes medidas es posible lograr una introducción de oxígeno de menos de 0,01 mg de O_2/l de cerveza durante la filtración:

- evitar de la aspiración de aire durante el vaciado del tanque,
- utilización de CO_2 como gas de contrapresión,
- desaireación completa de todas las tuberías y tanques, por medio de agua libre de oxígeno, antes de iniciar y durante la filtración, a través de un monitoreo permanente de las válvulas de purga de aire,
- eliminación de "bolsones de aire" en las tuberías,
- correcta instalación de las tuberías con válvulas de purga de aire,
- evitar reducciones de sección,
- presión de líquido suficientemente alta antes de la bomba para evitar fugas de CO_2 y aspiración de aire,
- utilización de gas inerte (CO_2, N_2) para la contrapresión y para el vaciado a presión de los sistemas de tuberías y tanques,
- desaireación de la suspensión de kieselgur en el recipiente de dosificación por medio de aplicación de gas CO_2,
- no incluir mezclas inicial y final, ricas en oxígeno,
- utilización de discos inhibidores de turbulencias y de chapas deflectoras en los tanques a presión para evitar la formación de surgencias y de vórtices de salida,
- establecer contrapresión con CO_2 puro en los tanques a presión.

4.5.2.2.1.4 Aparato dosificador

La preparación del kieselgur con agua libre de oxígeno, para la formación de la precapa, o con cerveza, para la dosificación continua, se realiza en el aparato dosificador (Figura 4.70). La utilización de cerveza pre-

supone un recipiente a presión para la suspensión de kieselgur: la cerveza debe ser suministrada bajo presión a la bomba dosificadora para evitar fugas de CO_2.

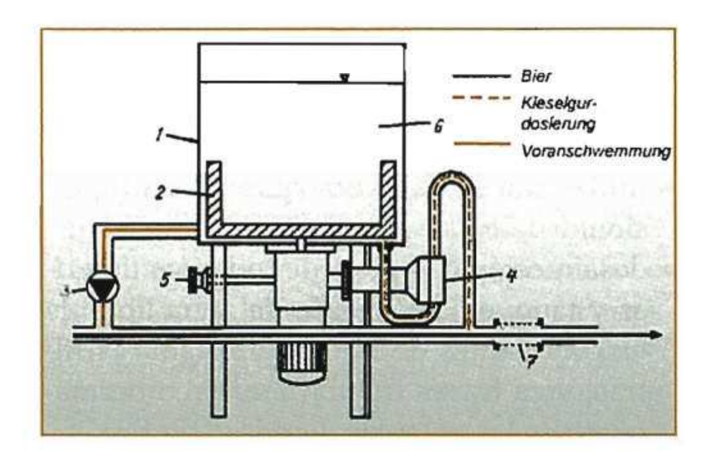
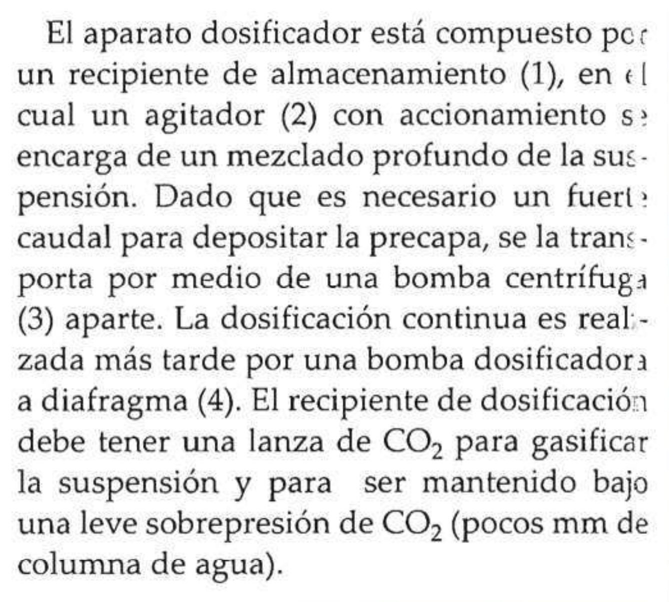


Figura 4.70
Aparato dosificador (esquemático)
(1) recipiente de almacenamiento, (2) agitador con motor de accionamiento, (3) bomba rápida de precapa para la formación de la precapa, (4) bomba dosificadora, (5) regulación de la dosificación, (6) mezcla de la suspensión, (7) mirilla con indicación de caudal



El aparato dosificador está compuesto por un recipiente de almacenamiento (1), en el cual un agitador (2) con accionamiento se encarga de un mezclado profundo de la suspensión. Dado que es necesario un fuerte caudal para depositar la precapa, se la transporta por medio de una bomba centrífuga (3) aparte. La dosificación continua es realizada más tarde por una bomba dosificadora a diafragma (4). El recipiente de dosificación debe tener una lanza de CO_2 para gasificar la suspensión y para ser mantenido bajo una leve sobrepresión de CO_2 (pocos mm de columna de agua).

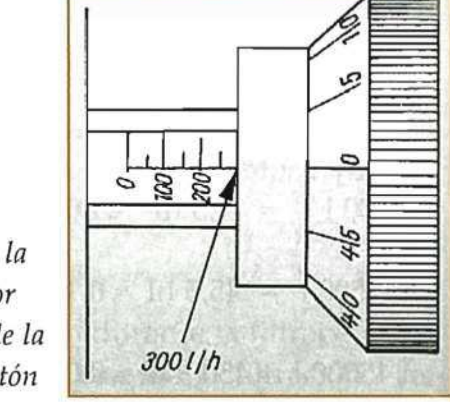


Figura 4.72
Regulación de la dosificación por modificación de la carrera del pistón

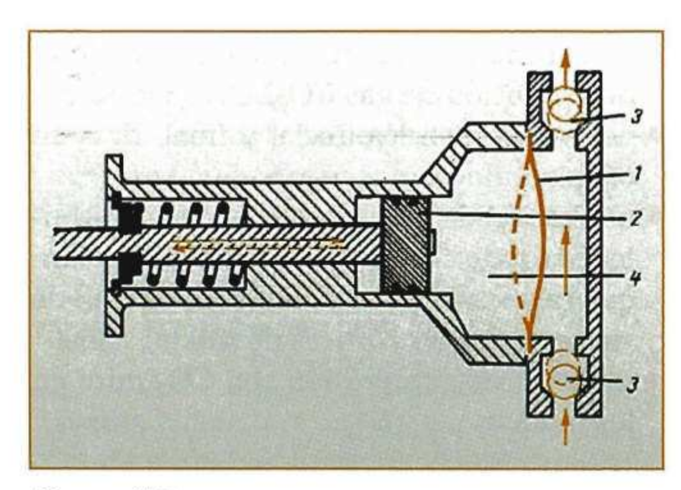


Figura 4.71
Bomba dosificadora (bomba a diafragma accionada por pistón)
(1) membrana, (2) pistón, (3) válvulas de bola (generalmente construida como válvula de doble bola), (4) aceite de silicona

La bomba dosificadora a diafragma regula el caudal de la dosificación continua; es ajustable en forma muy precisa. Esto es necesario porque se desea realizar la filtración con un consumo de kieselgur que sea lo más reducido posible. La pieza principal de la bomba a diafragma accionada por pistón (Figura 4.71) es una membrana de goma (1), que es movida por un pistón (2). Dado que el espacio está lleno con aceite de silicona (4), que es incompresible, cualquier movimiento del pistón tiene un efecto sobre la membrana de goma. Si el pistón se mueve hacia la derecha, entonces presiona la membrana de goma hacia la derecha y la presión formada aprieta la bola inferior contra la obturación, en tanto que la bola superior es elevada, liberando el camino para la dosificación. En el movimien-

del pistón y la membrana hacia la izquierda, la bola superior obtura el acceso, en tanto que la bola inferior se eleva, aspirándose una nueva dosis. La amplitud de la membrana de goma cambia con la longitud de carrera del pistón y con ello cambia el caudal de la mezcla transportada de kieselgur y cerveza. La longitud de la carrera del pistón se regula por medio de un tornillo de ajuste (Figura 4.72). Dado que, al ser girado, el tornillo de ajuste avanza o retrocede sobre el eje, se puede leer el valor ajustado de la dosificación continua directamente sobre el punto de contacto entre el tornillo de ajuste y el eje.

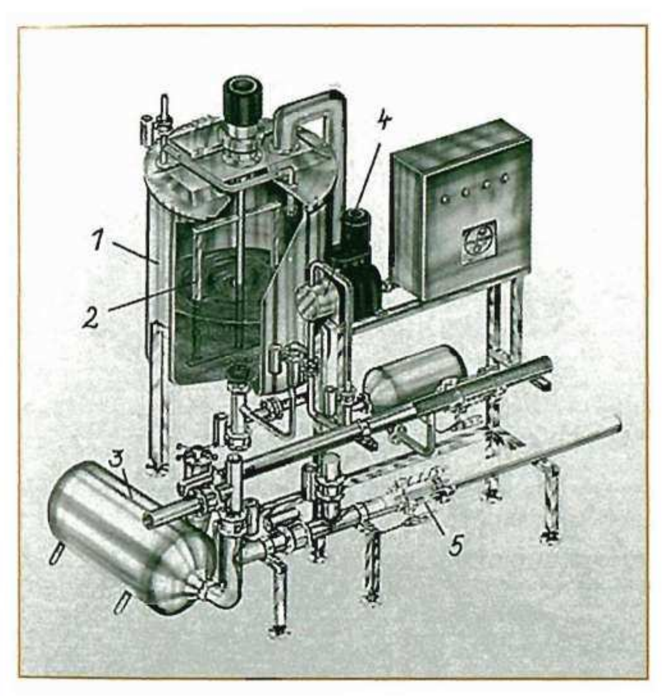


Figura 4.73
Aparato dosificador de kieselgur (vista en corte)
(1) recipiente de dosificación
(2) agitador con motor de accionamiento
(3) bomba para formación de precapa
(4) bomba dosificadora
(5) mirilla con indicación de caudal

El aparato dosificador (Figura 4.73) es un componente de todo filtro de precapa, independientemente de que se trate de un filtro de placas y marcos, de velas o de discos.

4.5.2.2.2 Filtro de precapa con placas y marcos

El filtro de precapa con placas y marcos está compuesto por un bastidor, en el cual se suspenden alternadamente marcos y placas, generalmente cuadrados. Se cuelgan láminas filtrantes sobre las placas, cubriendo así ambas caras de estas últimas y sellando con ello marcos y placas entre sí. Las láminas filtrantes están hechas de celulosa y resina de condensación. La resistencia es lograda por endurecimiento de masa, de manera que las láminas son lavables y con ello utilizables durante un tiempo prolongado. Luego de la filtración, el kieselgur es quitado por rociado o por medio de aire comprimido y la lámina filtrante puede volver a ser usada (Figura 4.74).

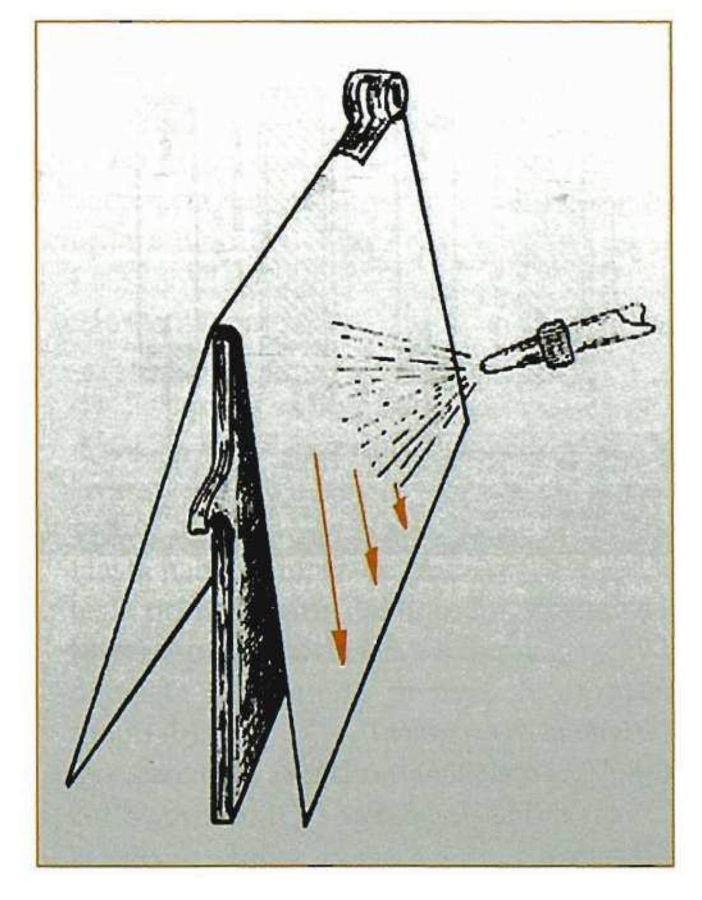


Figura 4.74
Remoción por rociado de la precapa de kieselgur

Modo de operación del filtro de precapa con placas y marcos (Figura 4.75)

El filtro de precapa con placas y marcos está compuesto por marcos (2) y placas (1), dispuestos de forma alternada. Dado que sobre las placas (1) se cuelgan láminas que cubren ambas caras, se forman, luego del prensado del filtro, espacios huecos en los marcos para la recepción de la precapa de kieselgur (5). La precapa y la posterior dosificación continua son bombeadas por el aparato dosificador a los marcos por arriba y por abajo, según lo descripto, y la capa filtrante se deposita en espesores cada vez mayores.

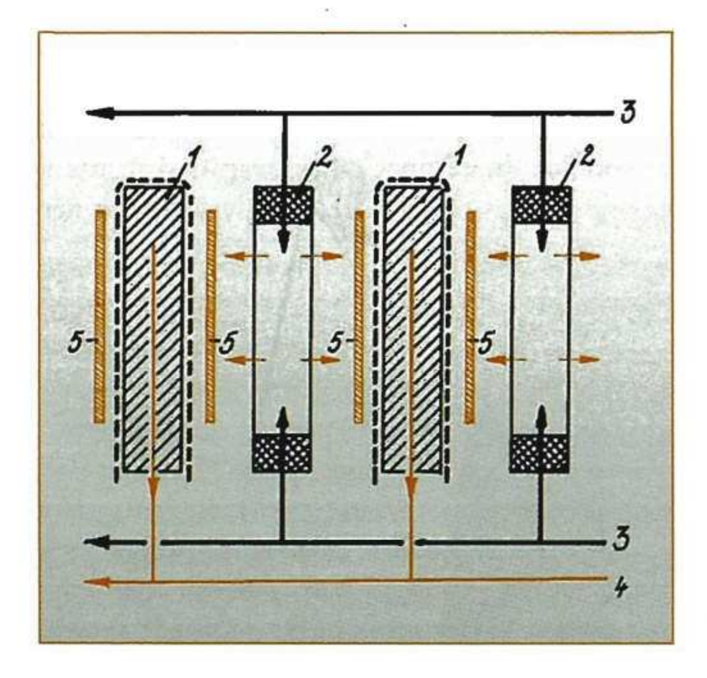


Figura 4.75
Filtración de precapa con placas y marcos (esquemático)
(diagrama en explosión)
(1) placas con láminas cubiertas de precapa, colgadas encima de aquellas
(2) marcos
(3) suministro de líquido sin filtrar
(4) salida de líquido filtrado
(5) precapa de kieselgur

4.5.2.2.3 Filtro de precapa con velas filtrantes

Los filtros de precapa con velas filtrantes (Figura 4.76) son recipientes a presión cilíndricos y verticales (1) con fondo cónico. Debajo de la tapa del filtro se encuentra la placa de velas filtrantes (3), de la cual cuelgan sujetadas las velas filtrantes (2).

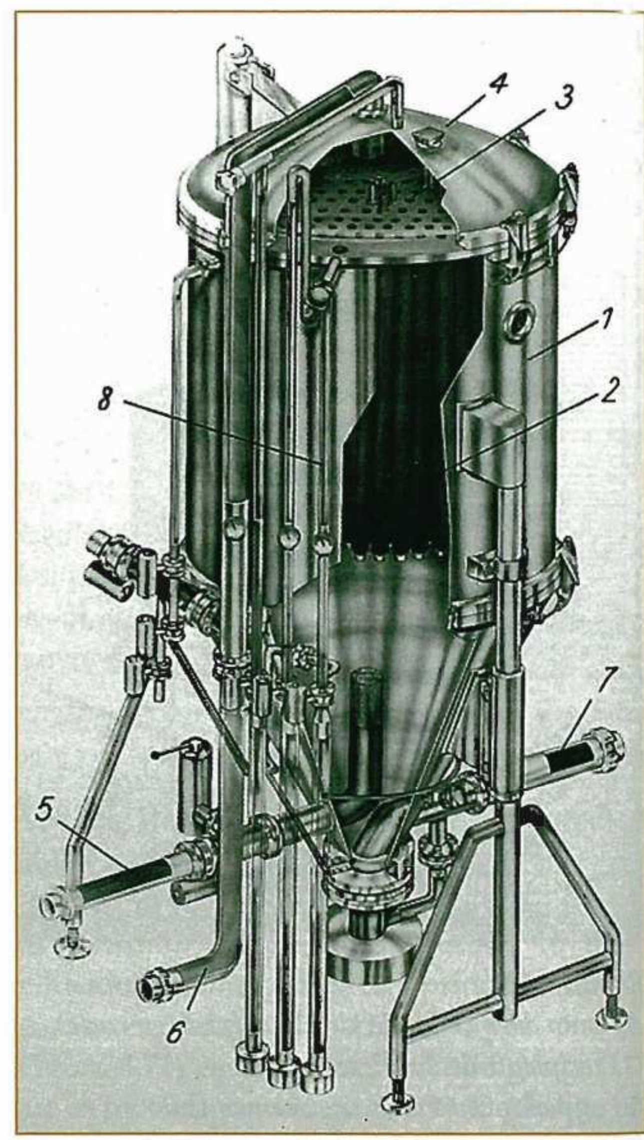


Figura 4.76
Filtro con velas filtrantes (vista en corte)
(1) recipiente del filtro, (2) velas filtrantes colgadas, (3) placa perforada para la colocación de las velas filtrantes,
(4) tapa del filtro, (5) suministro de líquido sin filtrar, (6) salida del líquido filtrado, (7) descarga de lodos de kieselgur, (8) tubería de venteo

Las velas filtrantes son el medio filtrante, obre el cual se deposita el medio auxiliar de ltración kieselgur. Para poder realizar la filación se enrolla un alambre trapezoidal obre un perfil de apoyo, con una separación efinida de 50 a 80 μm.

El perfil longitudinal consiste en alambres erfilados o una chapa perforada cilíndrica (Figuras 4.78 y 4.77). Debido a la longitud de la vela filtrante, que puede alcanzar hasta más de 2 m, se forma una ranura muy angosta, pero de gran longitud. Dado que en un filtro pueden estar colocadas hasta 700 velas, se forma así una gran superficie filtrante, la cual garantiza una gran caudal a través del filtro, que a su vez tampoco posee piezas móviles.

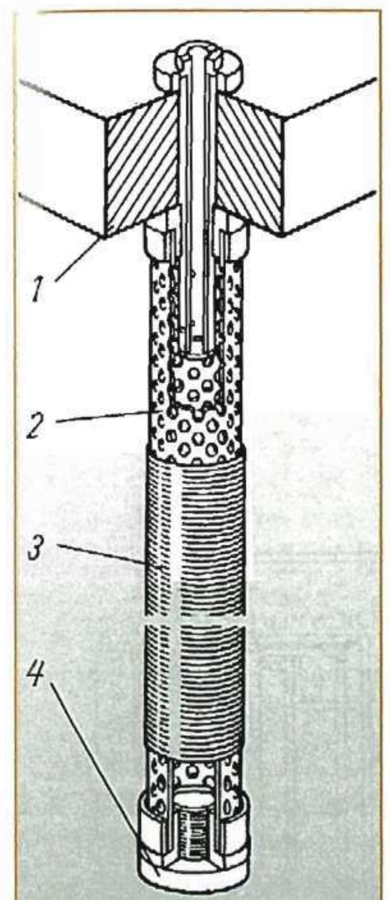


Figura 4.77
Vela filtrante
(1) placa de velas filtrantes,
(2) tubo perforado,
(3) hélice de alambre trapezoidal,
(4) tapón roscado

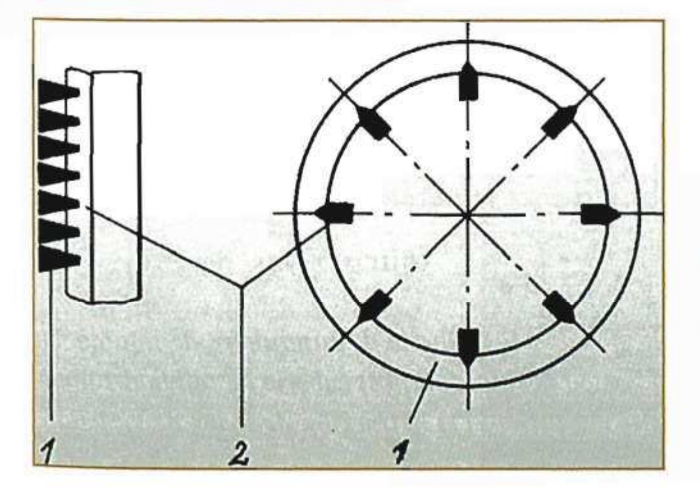


Figura 4.78
Vela filtrante (sección)
(1) hélice de alambre trapezoidal,
(2) varillas perfiladas, como espaciadores

4

La superficie filtrante de una vela filtrante de

25 mm de diámetro y 1,5 m de longitud es 0,118 m²,
30 mm de diámetro y 1,5 m de longitud es 0,141 m²,
35 mm de diámetro y 2 m de longitud es 0,220 m².

El filtro de precapa con velas filtrantes incluye una serie de otras tuberías, conexiones e instrumentos de control adicionales. Todos los accesorios del filtro están minuciosamente construidos para no permitir bajo ninguna circunstancia ni la más mínima absorción de oxígeno al principio, durante y después de la filtración. Esto implica un gasto considerable.

Secuencia de operación en la filtración y la limpieza del filtro (Figuras 4.79 a hasta i):

- Llenado del filtro con agua. Dado que el agua entrará más tarde en contacto con la cerveza, se debe utilizar agua desgasificada. Esta agua es bombeada en circuito (a).
- Al agua se le mezcla la primera precapa base y se la deposita durante aproximadamente 10 min sobre las velas filtrantes. Hasta haberse formado una capa de soporte, la primera parte del líquido para formar la precapa fluye turbia. Posteriormente se deposita la segunda precapa del mismo modo (b).
- El equipo de filtración es operado en circuito cerrado (c).
- Luego se realiza el inicio de la filtración, conmutando del agua a la cerveza. La cerveza sin filtrar desplaza lentamente al agua en el filtro, desde abajo hacia arriba, y es fil-

trada a través de las velas. Previamente se prepara en el aparato dosificador una mezcla de kieselgur y se efectúa la adición dosificada de la misma a la cerveza a través de la bomba dosificadora. Sin embargo, debe remarcarse que el límite entre el agua y la cerveza es pequeño, pero no es absoluto. Es decir que hay una pequeña cantidad de mezcla, la mezcla inicial (d).

- La filtración se desarrolla ahora del mismo modo; se forma una capa cada vez más gruesa alrededor de las velas, debido al kieselgur adicionado en forma dosificada. Esta capa filtra cada vez más fino, pero causa un aumento continuo de la presión de entrada. Cuando se ha alcanzado la presión máxima permitida de 6 a 8 bar (m), se debe finalizar la filtración (e).

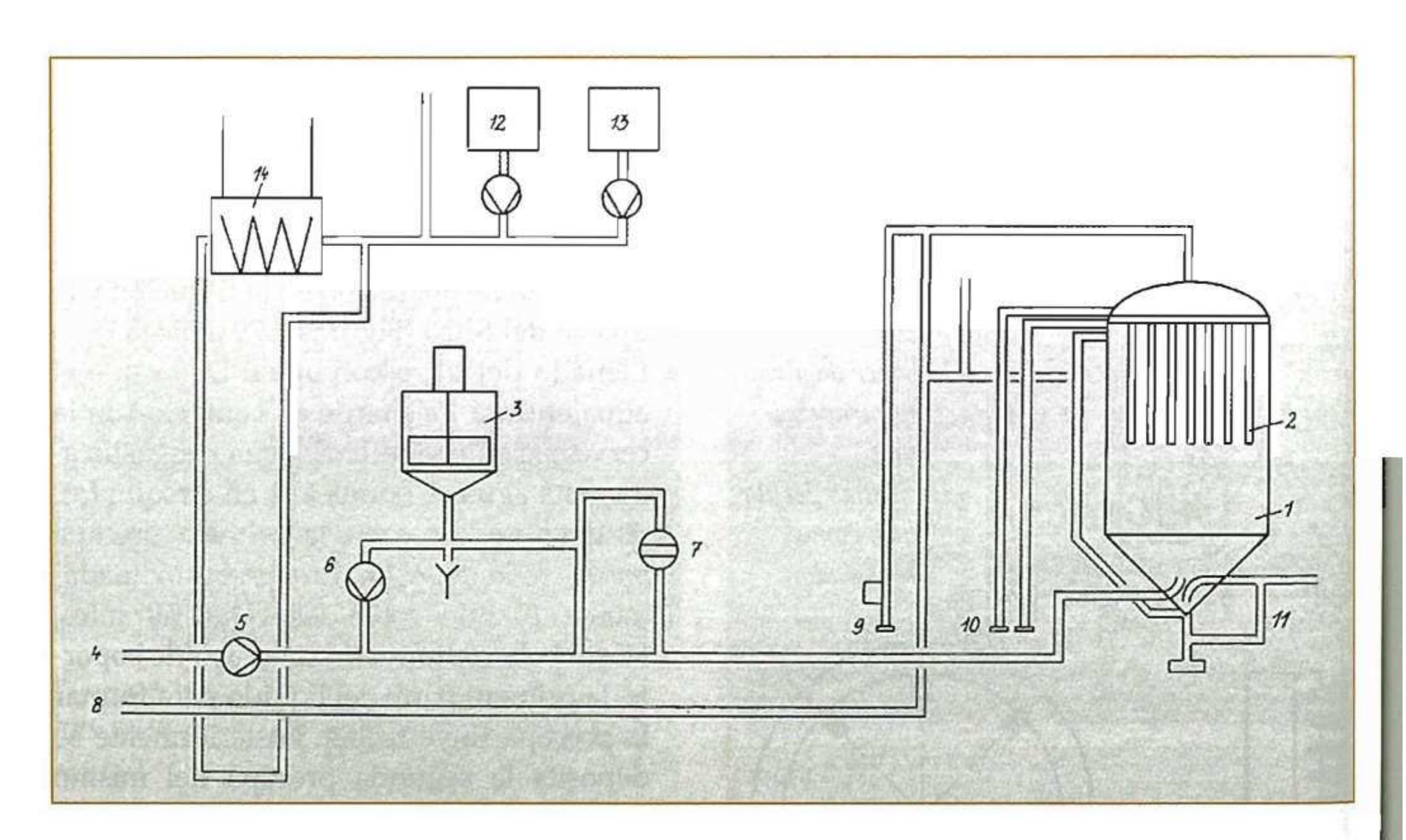
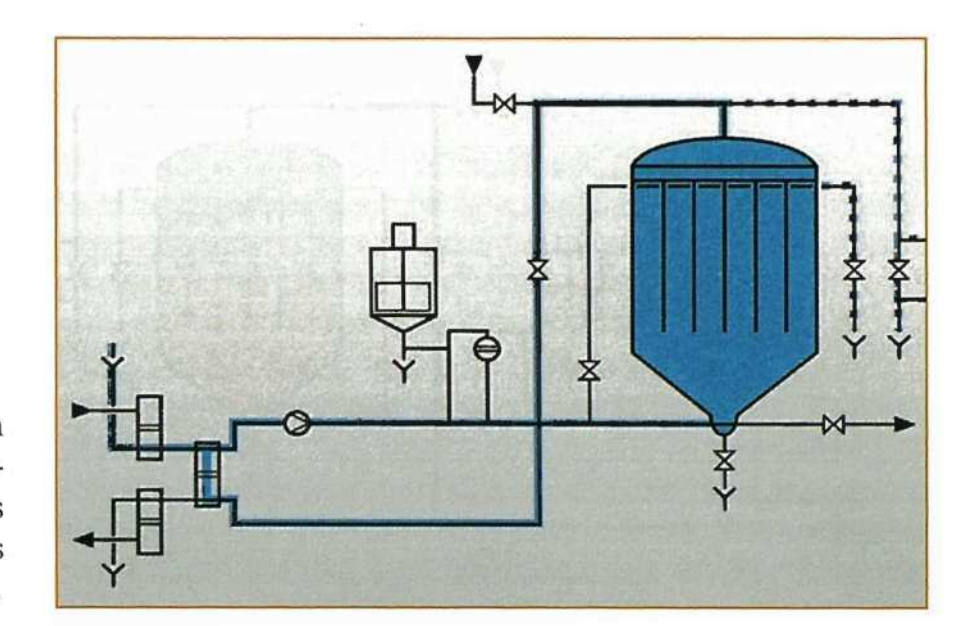
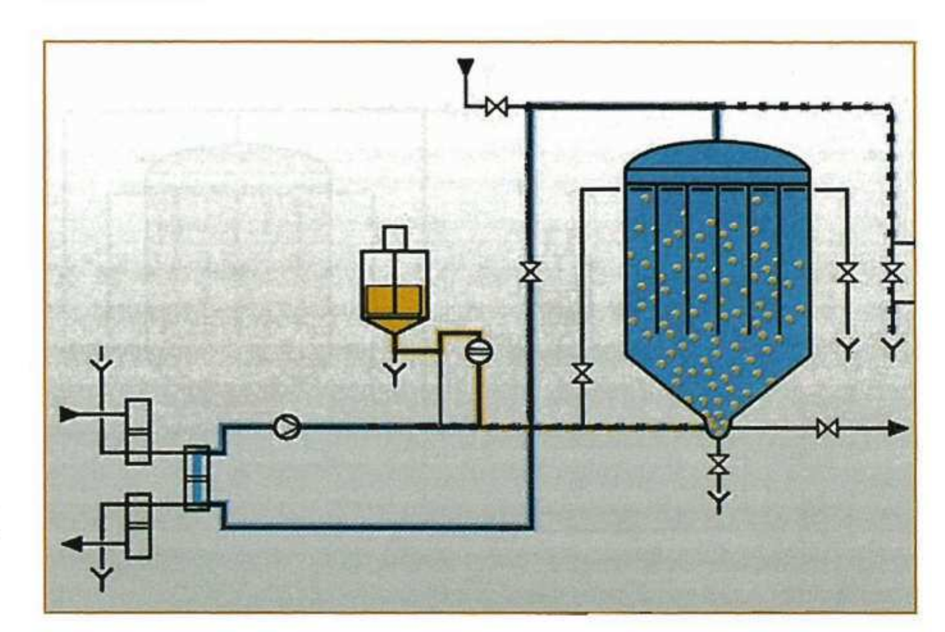


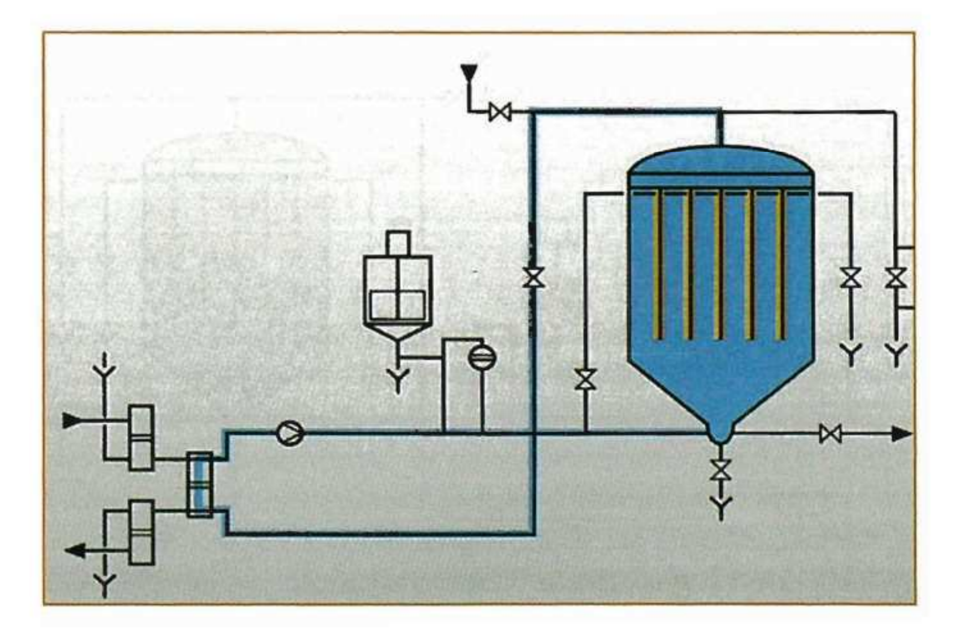
Figura 4.79
Secuencia de operación en la filtración con filtro de velas
(1) recipiente de filtro, (2) velas filtrantes, (3) aparato dosificador, (4) tubería de suministro de líquido sin filtrar, (5) bomba de filtración, (6) bomba de precapa, (7) bomba dosificadora, (8) tubería de salida del líquido filtrado, (9) purga de aire de la tapa, (10) purga de aire del filtro, (11) extracción de lodos de kieselgur, (12) recipiente de lejía, (13) recipiente de ácido, (14) calentador



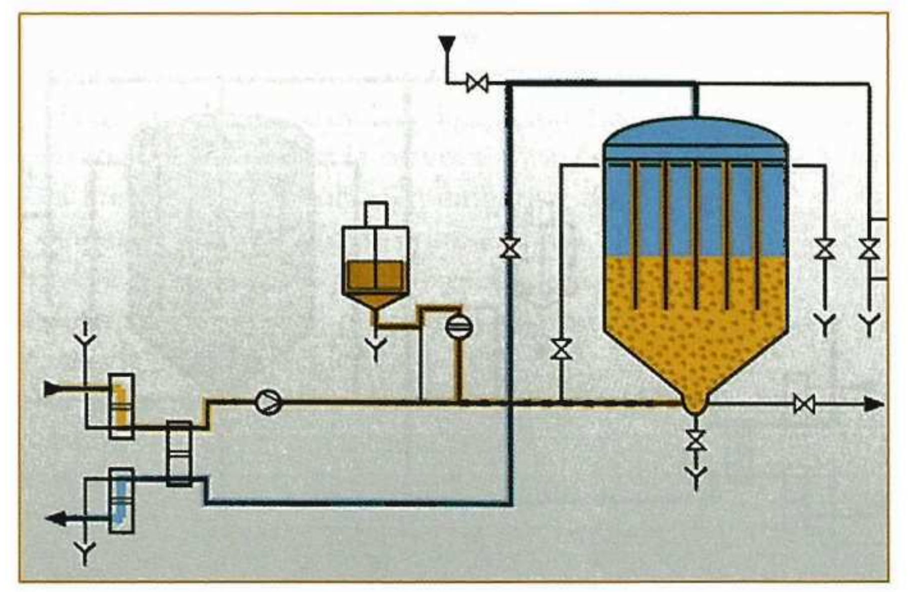
a) Inicio
El filtro es llenado con agua desgasificada o cerveza filtrada y el aire es purgado; el equipo es operado en recirculación.



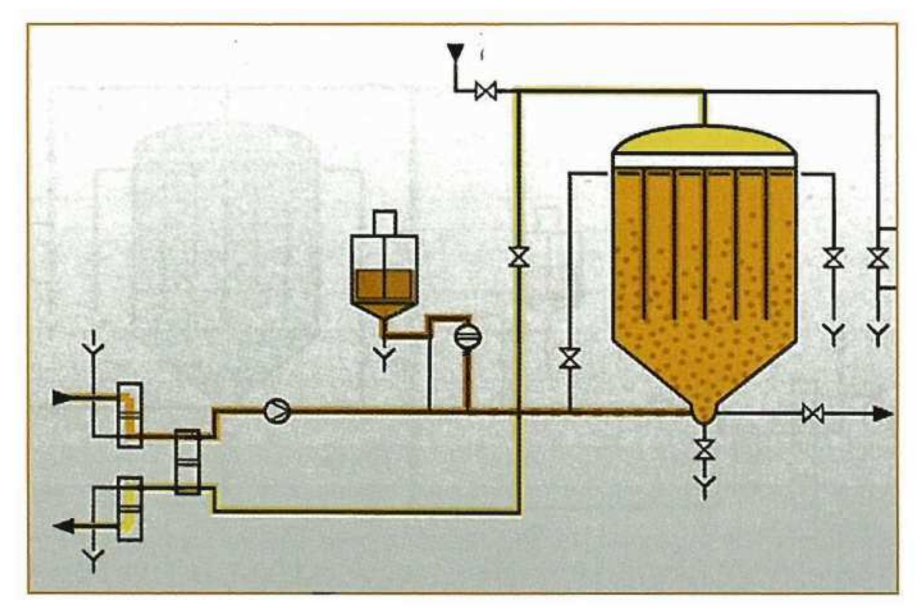
b) Formación de precapa
Aplicación de la precapa base y de la capa de seguridad (1ª + 2ª precapa base).



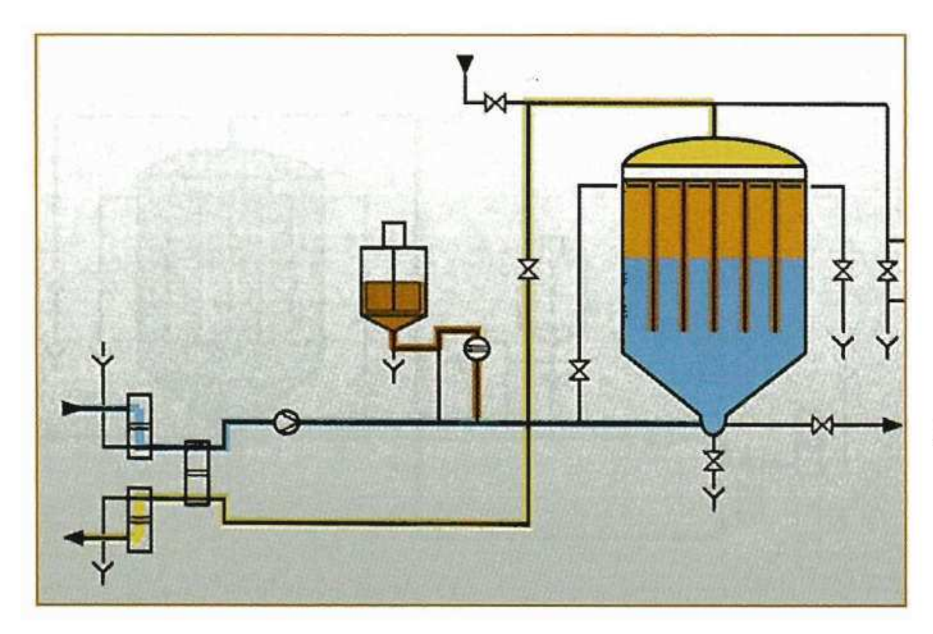
c) Circulación en circuito cerrado
Por cada precapa el equipo es operado en circuito cerrado durante 10 a 15 minutos.



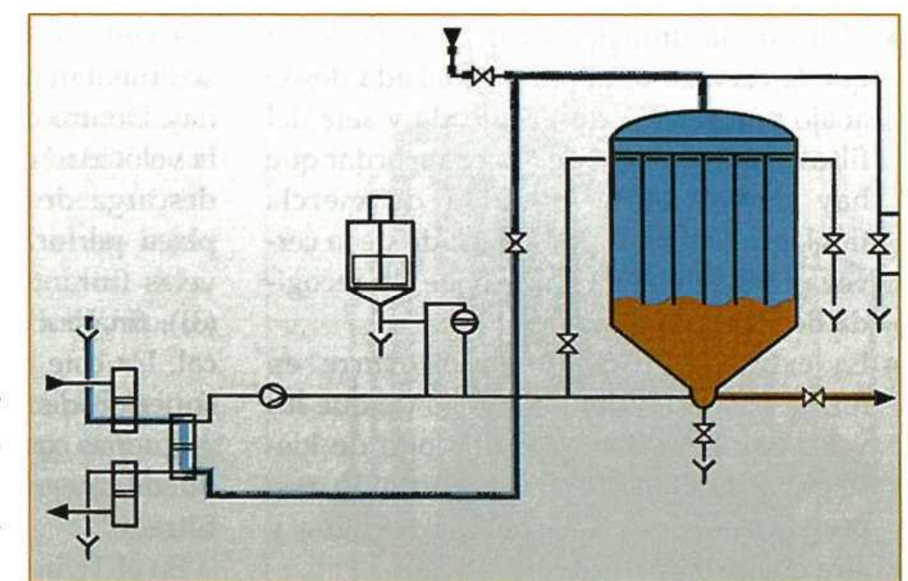
d) Inicio de la filtración
Inicio de la filtración por desplazamiento del agua, lo cual es realizado con la cerveza, si es que la precapa no ha sido formada ya con cerveza.



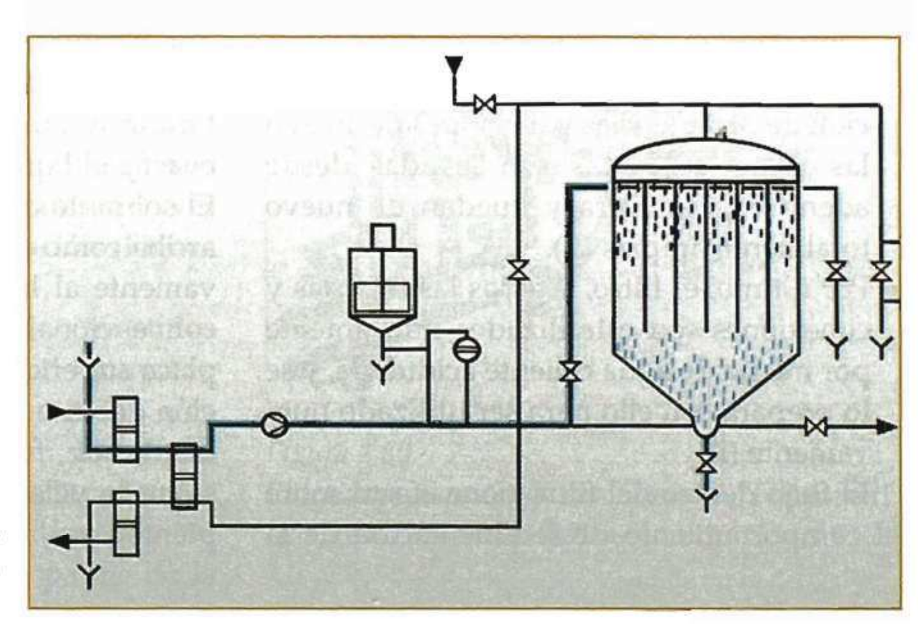
e) Filtración
Filtración de la cerveza con dosificación continua de kieselgur; la diferencia de presión en el filtro aumenta lentamente.



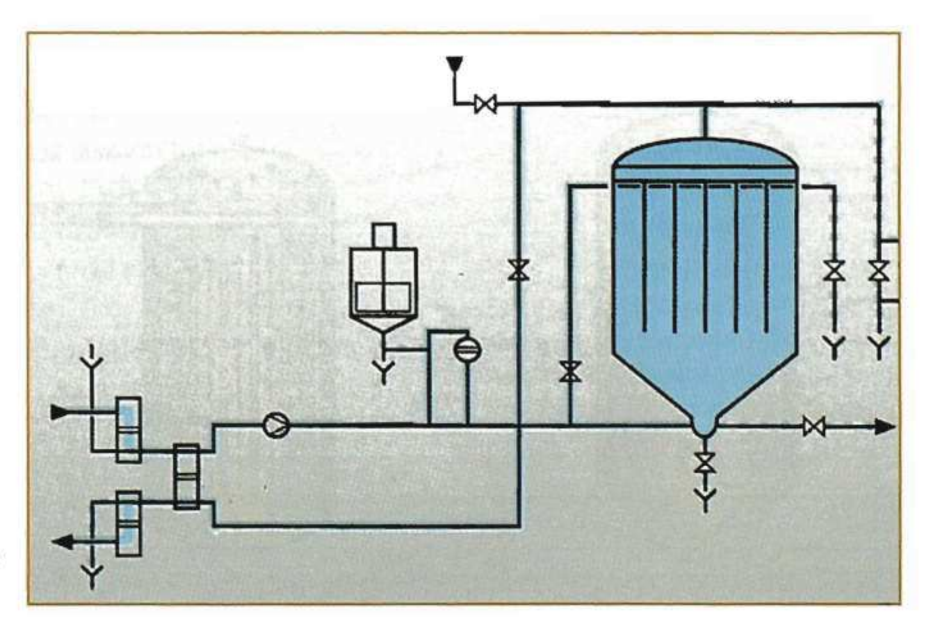
f) Fin de la filtración
La filtración es finalizada por desplazamiento de la cerveza, lo que se realiza con agua desgasificada.



g) Extracción del trub
Separación del trub por golpes de aire comprimido desde adentro hacia afuera y extracción en forma pastosa.



h) Limpieza
Limpieza por contralavado, apoyado por golpes de aire.



i) Esterilización
Todo el equipo es esterilizado con agua caliente

- El fin de la filtración ocurre de modo tal que la cerveza es ahora desplazada desde abajo por el agua desgasificada y sale del filtro. También aquí debemos recordar que hay una pequeña cantidad de mezcla final, que se forma por mezclado de la cerveza con el agua (f) y que debe ser recogida de forma separada.
- La extracción del kieselgur ocurre en forma pastosa o líquida, luego de que las velas han sido liberadas del lodo de kieselgur por golpes de aire comprimido, respectivamente por una mezcla de agua y aire comprimido (g).
- La limpieza es realizada ahora en sentido contrario, adicionando en intervalos aire al agua. Esto da como resultado la formación de turbulencias y de golpes de aire en las velas; así, éstas son lavadas desde adentro hacia fuera y quedan de nuevo totalmente limpias (h).
- Por último, el filtro, y todas las tuberías y conexiones son esterilizados nuevamente por medio de agua caliente acidulada, y se lo prepara con ello para ser utilizado nuevamente (i).

El flujo dentro del filtro tiene efecto sobre el comportamiento de sedimentación de la partícula de kieselgur: las partículas grandes sedimentan más rápidamente que las pequeñas. Dentro del filtro de velas convencional, la velocidad de flujo se lentifica. Dado que la descarga de líquido filtrado finaliza en la placa perforada para la colocación de las velas filtrantes (ver al respecto Figura 4.75 (3)), finaliza con ello también el flujo vertical. De este modo se depositan en la parte superior de las velas más partículas más pequeñas que en la parte inferior. Esto puede causar calidades variables de líquido filtrado.

En el Twin-Flow-System (TFS), Steinecker, Freising [221], todo el recipiente del filtro es, por el contrario, espacio de líquido no filtrado (Figura 4.79 b). En lugar de la placa perforada, hay aquí una tubería de registro, que evacúa el líquido filtrado de todas las velas. El sobrante continúa pasando y es extraído arriba como derivación y suministrado nuevamente al líquido no filtrado. En el filtro convencional de velas, el flujo finaliza en la placa superior. Esto resulta en una distribución del kieselgur de precapa que no es realizada de forma totalmente homogénea sobre la vela. En el filtro TFS, todo el recipiente pasa a ser espacio de líquido no fil-

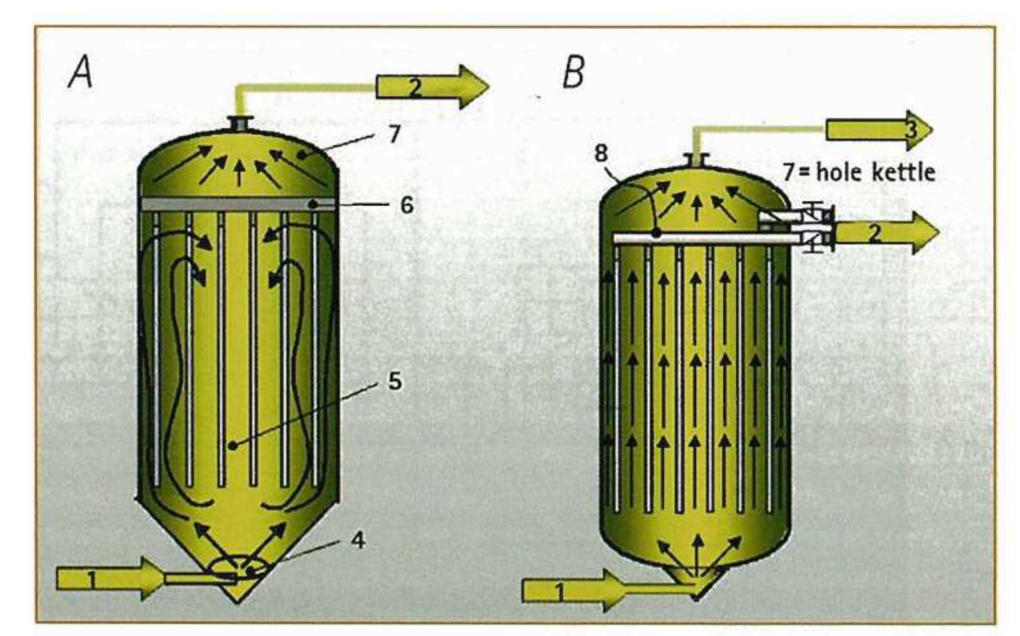


Figura 4.79 b
Twin-Flow-System (TFS)
(A) flujo en el filtro de velas convencional,
(B) flujo en el Twin-Flow-System (TFS)

(1) líquido no filtrado,
(2) líquido filtrado,
(3) derivación,
(4) distribuidor de entrada,
(5) espacio de líquido no filtrado,
(6) placa superior,
(7) espacio de líquido filtrado,
(8) tubería de registro

ado, porque la placa perforada es substi-ida por un registro y la cerveza no filtrada .ede continuar fluyendo sin impedimento uno. De esta manera están garantizados flujo y una filtración uniformes y tran-ilos a lo largo de las velas. Con los inter-los de filtración más prolongados, debi-s a ello, se pueden disminuir los costos de eración [268].

El nombre del sistema resulta del princi-pio de dos flujos (twin-flow): una entrada y dos salidas, que pueden ser reguladas de forma relacionada entre sí.

4.5.2.2.4 Filtro de precapa con discos filtrantes

Los filtros de precapa con discos filtrantes consisten en un cilindro vertical. Sobre un árbol hueco se encuentran dispuestos numerosos elementos filtrantes circulares, a través de los cuales se realiza la filtración (Figura 4.80).

Los elementos filtrantes están revestidos en su parte superior con un tejido trenzado de acero al cromo-níquel, que tiene una abertura de malla de 50 a 80 μm. Tiene una importancia muy grande en esto la construcción de los elementos filtrantes, la aplicación de kieselgur debida a ello y el pasaje de la cerveza.

La secuencia de operación en el filtro de precapa con discos filtrantes es en principio la misma que en el filtro de precapa con velas filtrantes, pero la necesaria aplicación homogénea de la precapa sobre todos los elementos filtrantes no es –como también en el filtro de velas– tan sencilla y puede causar problemas (ver Sección siguiente).

Algunos equipos trabajan para ello con dos canales en el árbol hueco, para lograr una formación más homogénea de la torta filtrante sobre todos los elementos filtrantes, por medio de una mejor distribución de la precapa y de la dosificación continua (Figura 4.81).

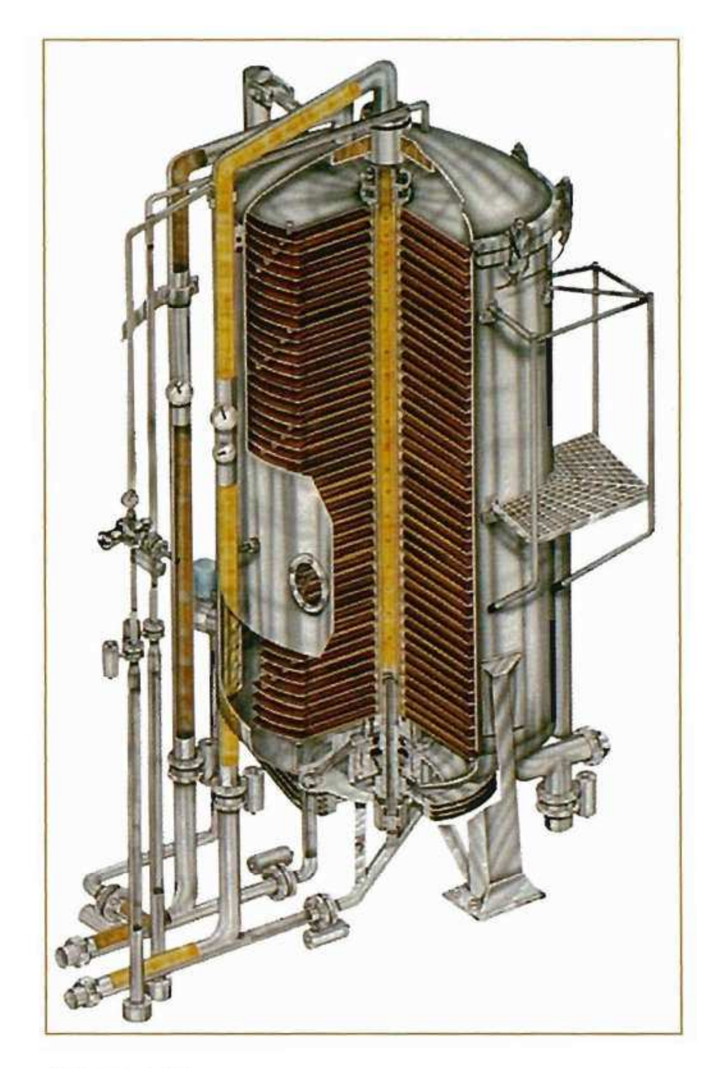


Figura 4.80
Filtro de precapa con discos filtrantes "Filteromat" (Empresa Filtrox, St. Gallen, Suiza)

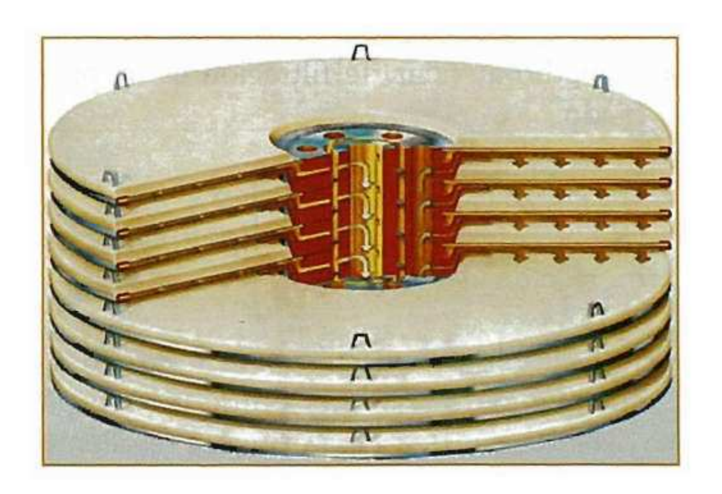


Figura 4.81
Elementos filtrantes con dos canales en el árbol hueco, tipo "Primus"
(Empresa Schenk Filterbau, Waldstetten)

Debajo de los elementos filtrantes más inferiores queda un pequeño residuo que no puede ser filtrado y que debe ser tratado de forma separada.

4

La extracción ocurre por rotación del paquete filtrante, por lo cual la torta filtrante es lanzada por la fuerza centrífuga contra las paredes y se desliza de forma pastosa hacia abajo. Para la posterior limpieza, el paquete filtrante es girado lentamente y simultáneamente rociado de manera intensiva.

Por lo general, se está interesado en extraer el kieselgur usado de forma pastosa para la ulterior eliminación para desecho.

4.5.2.2.5 Problemas de filtración causados por el equipo

En la filtración con kieselgur, frecuentemente aparecen problemas. Aquí, pequeños errores pueden tener grandes efectos. Tales fuentes de problemas pueden ser en la filtración [184]:

- fugas de gas debido a bolsones de aire en los vasos o en el filtro,
- la velocidad de flujo es demasiado alta o demasiado baja,
- la precapa está aplicada de manera no homogénea,
- el sello del árbol está defectuoso o las velas están colocadas demasiado flojas,
- el medio auxiliar de filtración es inapropiado,
- hay errores biológicos,
- la cerveza es difícil de filtrar o
- hay errores de proceso (por ejemplo, ingreso de O_2).

Errores durante la formación de la precapa

Por medio de la aplicación de la precapa se debe formar una capa primaria resistente a la presión. Es condición para ello una relación bien balanceada de kieselgur grueso y kieselgur fino. Para ello, es necesaria una primera precapa con aproximadamente 70% de la cantidad total de kieselgur grueso. La segunda precapa está compuesta por kieselgur fino – aproximadamente aquel, a través del cual se debe filtrar finalmente.

Sin embargo, frecuentemente se prescinde –sin desventajas– de dos precapas separadas y se prepara la precapa como mezcla de kieselgur grueso y fino en una sola etapa de operación. Para la precapa, se calcula con la utilización de

800 a 1200 g/m²

(= espesor de capa 1,5 a 3 mm).

El caudal de recirculación a 2 bar debería ser aproximadamente 1,5 a 2 veces el caudal de líquido filtrado.

La aplicación de la precapa dura aproximadamente 10 min. En el caso de un llenado y vaciado demasiado rápidos, se producen fisuras y remolinos que remueven lateralmente la torta filtrante, desmejorando con ello el rendimiento de filtración (Figura 4.82, a).

Errores durante en la dosificación continua

Durante la filtración aumenta cada vez más la diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro, porque el aumento progresivo del espesor de capa crea una resistencia cada vez mayor.

En la dosificación continua interesa principalmente mantener lo más constante posible el incremento de esa diferencia de presión en 0,1 a 0,2 bar/h (hasta 0,5 bar/h en filtros de recipiente). Si se trabaja con mezclas de kieselgur, se puede variar la relación entre los tipos de kieselgur. Si se trabaja con sólo un kieselgur, sólo se puede realizar el ajuste a través de la cantidad de dosificación.

Normalmente, el consumo de kieselgur a través de toda la filtración se encuentra entre

80 y 120 g/hl.

En tanto que normalmente la diferencia de presión aumenta de forma lineal en 0,2 bar/h (Figura 4.82), en el caso de una dosificación demasiado baja (b), no se logra incluir la levadura en la mezcla de kieselgur como capa soporte adicional. Esto conduce a una capa

barrera irreversible, que finalmente lleva a aumento de presión substancial (bloqueo). se produce una irrupción de levadura, no la tal llamada oleada de levadura, ede alcanzarse un bloqueo más o menos nde (c). También una dosificación demado elevada conduce a una curva de filtrak aplanada y al agotamiento prematuro espacio de trub en el filtro (d).

Errores durante la esterilización del filtro

Tiempos de esterilización demasiado breves conducen a problemas biológicos. Se exige, como mínimo, 30 min de tiempo de exposición luego de alcanzada la temperatura requerida ($\delta \geq 85°C$, mejor aún 90 a 95°C en la salida). Tiene en esto una importancia especial la medición de temperatura. Se deben controlar aquí regularmente las sondas de temperatura respecto de su precisión de indicación.

Se debe mantener la presión durante el enfriamiento para que durante este último no pueda ingresar aire del ambiente a la cerveza, y con ello contaminaciones, debido a la presión negativa formada.

4.5.2.2.6 Tratamiento de las mezclas inicial y final

Las mezclas inicial y final contienen oxígeno, agua libre y cerveza que se escapa. Las mezclas inicial y final son fuertemente susceptibles de ser contaminadas, también debido a su valor pH más elevado. Es por ello que deberían ser sometidas a un proceso ulterior lo más rápido posible. Para ello, se debería producir la cerveza de antemano con 0,2 a 0,3% más de extracto para que esté asegurada la concentración prevista también después de la dosificación de mezcla inicial y final.

Las mezclas inicial y final pueden ser procesadas separadamente y, como mínimo, tratadas a través del pasteurizador flash (son necesarias 28 a 30 UP). Es mejor adicionar Krausen y fermentar en un tanque separado.

4.5.2.2.7 Equipo de filtración con kieselgur

La filtración con kieselgur presupone una operación totalmente libre de choques. Cada efecto de choque conduce inmediatamente al arrastre de partículas de kieselgur y al enturbiamiento de la cerveza. Por ello, el concepto del equipo de kieselgur prevé sendos tanques amortiguadores antes y después del filtro de manera de poder evitar golpes de ariete (Figura 4.82a, 2 y 5). Los tanques amortiguadores están llenos para esto sólo parcialmente y tienen un amortiguador de gas CO_2. Un turbidímetro (8) señaliza si el valor de turbidez aumenta. Está previsto para con-

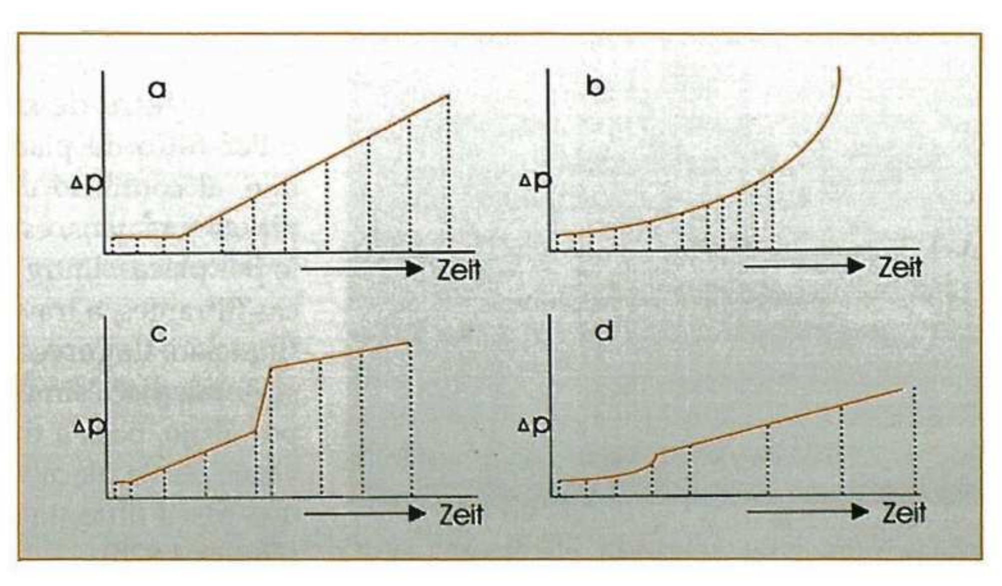


Figura 4.82
Fuentes de error durante la dosificación continua
(a) aumento normal de presión
(b) dosificación demasiado baja
(c) bloqueo debido a irrupción de levadura
(d) dosificación demasiado elevada

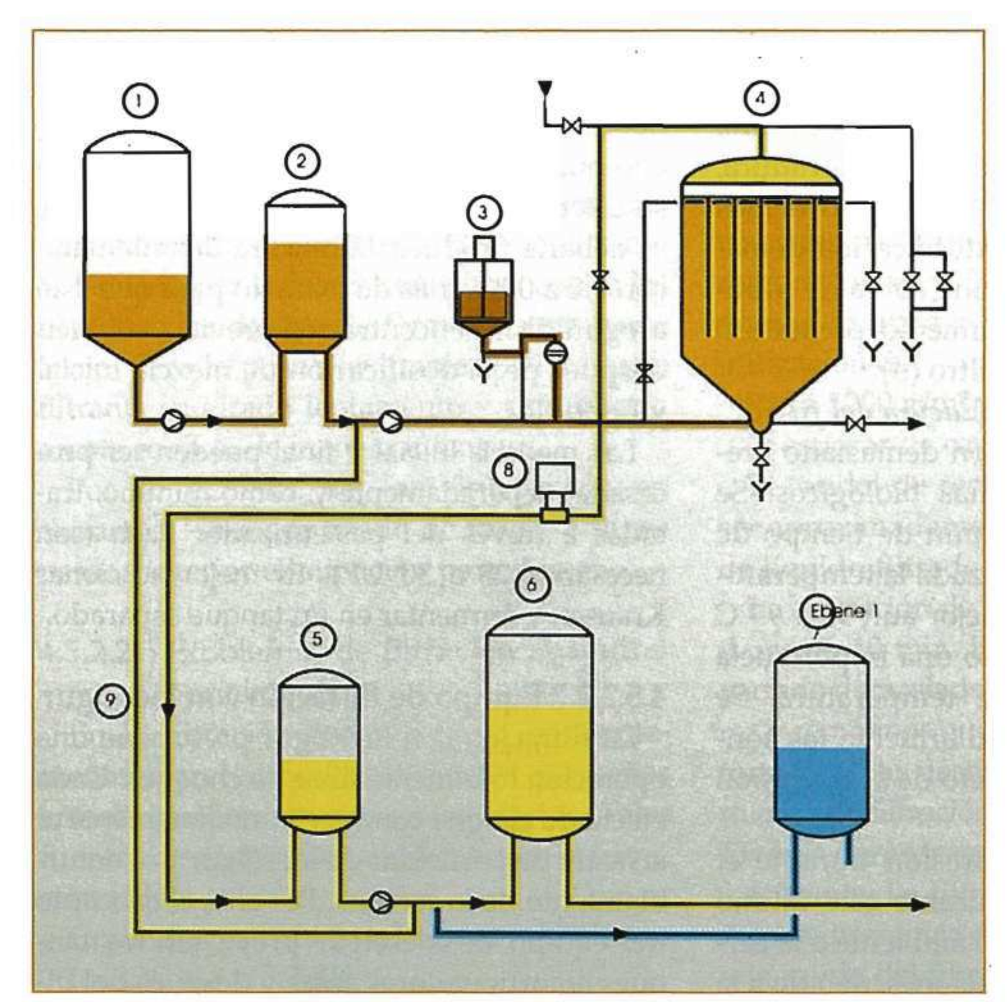


Figura 4.82a
Equipo de filtración con kieselgur
(1) tanque de reposo
(2) tanque amortiguador
(3) aparato dosificador
(4) filtro de kieselgur
(5) tanque amortiguador
(6) tanque a presión para cerveza filtrada
(7) tanque de mezclas inicial y final
(8) turbidímetro
(9) tubería para operación en circuito

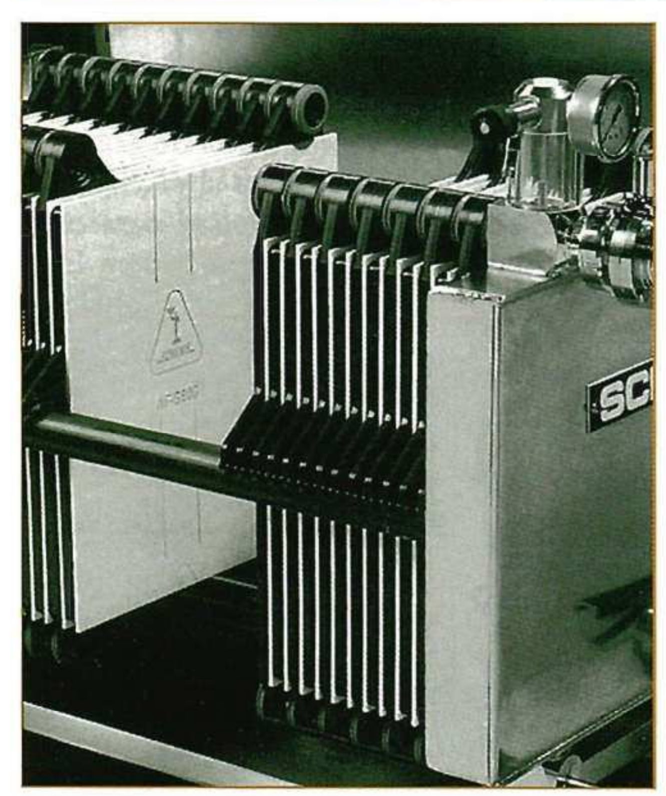


Figura 4.82b: Filtro de placas

mutar el equipo automáticamente a operación en circuito hasta que los valores de turbidez sean nuevamente normales.

4.5.2.3 Filtro de placas (filtro de marcos)

Por filtro de placas se entiende un filtro que, al contrario del filtro de precapa con placas y marcos, está compuesto únicamente por placas. Entre las placas se colocan placas filtrantes, a través de las cuales ocurre la filtración. La cerveza es introducida en cada segunda placa simultáneamente por arriba y por abajo, pasa a través de la placa filtrante y sale por la placa vecina. De este modo hay una placa filtrante entre cada par de placas (Figura 4.82b).

Por este motivo, estas placas filtrantes son muy importantes. Están compuestas por celulosa y kieselgur.

En esto, no sólo cumple un papel decisivo la relación de mezcla, sino también la estructura de fibras de la madera, de la cual se obtuvo la celulosa. Se debe diferenciar entre el micronaje de una capa y el caudal de líquido filtrado. Básicamente rige:

Con la disminución del micronaje disminuye el caudal a través del medio filtrante.

De acuerdo con el propósito de utilización, se puede, por ello, tener placas filtrantes para

- filtración gruesa,
- filtración de clarificación,
- filtración fina y
- filtración esterilizante (filtración desgerminante).

En la fábrica de cerveza se utilizan frecuentemente los filtros de placas, después del filtro de kieselgur, para la filtración más fina. En las pequeñas fábricas de cerveza se encuentran frecuentemente también ambos filtros, el filtro de precapa con placas y marcos, y el filtro de placas, combinados en un filtro, con una placa inversora entre ambos. La Figura 4.83 muestra cómo se atoran las últimas células de levadura en la estructura complicada de una capa tal de alto rendimiento, garantizando con ello una cerveza libre de levadura.

Pero no se debe pasar por alto que el filtro de placas tiene algunas desventajas considerables que limitan su utilización general:

- en la fábrica de cerveza, sólo es posible el contralavado de las placas filtrantes,
- el filtro tiene un gran requerimiento de espacio y demanda un gran esfuerzo laboral,
- los gastos de operación son relativamente superiores (placas filtrantes, consumo de agua),
- el filtro en paquete debe ser esterilizado con agua caliente y enjuagado luego con agua fría,
- el aire debe ser desplazado fuera del filtro,
- no es automatizable y debe ser limpiado manualmente, y
- es susceptible frente a concentraciones altas de sólidos y altas cantidades de gérmenes en el prefiltrado.

4.5.2.4 Filtro de membrana

Para la filtración reductora de gérmenes y esterilizante se utilizan hoy en día de forma creciente filtros de membrana. Por éstos se entienden filtros, en los cuales la cerveza es pasada a través de membranas de poros muy finos, en los cuales es liberada ampliamente de microorganismos y componentes enturbiantes. Las membranas son ofrecidas en forma de

- módulos filtrantes (filtro de módulos),
- cartuchos de membranas (filtros de cartuchos)

u otra forma.

La precondición para una filtración exitosa por membrana fina o muy fina es siempre una buena preclarificación y clarificación de la cerveza.

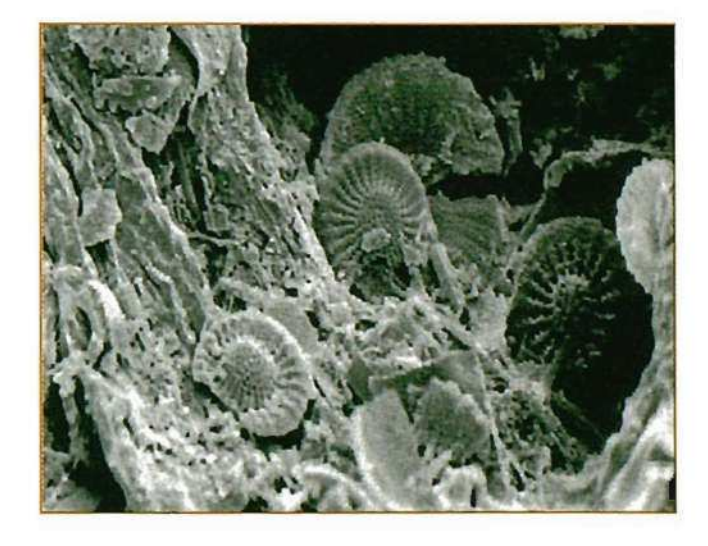


Figura 4.83
Superficie de una placa filtrante
(Fotografía por microscopio electrónico de barrido: Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)

4

4.5.2.4.1 Filtro de módulos

Por módulos filtrantes (Figura 4.84) se entienden elementos filtrantes circulares rígidos de hasta 40 cm de diámetro, que posibilitan una descarga en la columna central a través de un elemento distanciador integrado. La filtración se realiza de afuera hacia adentro. La placa filtrante del módulo está compuesta por celulosa con relleno de kieselgur.

Hay placas filtrantes de diferente micronaje, y también aquí un menor micronaje implica un menor caudal.

El filtro de módulos esta compuesto por un paquete grande de módulos conectados de forma paralela, que están instalados en una carcasa correspondiente (Figura 4.85).

Existen también módulos filtrantes con rellenos de PVPP para la extracción simultánea de los polifenoles.

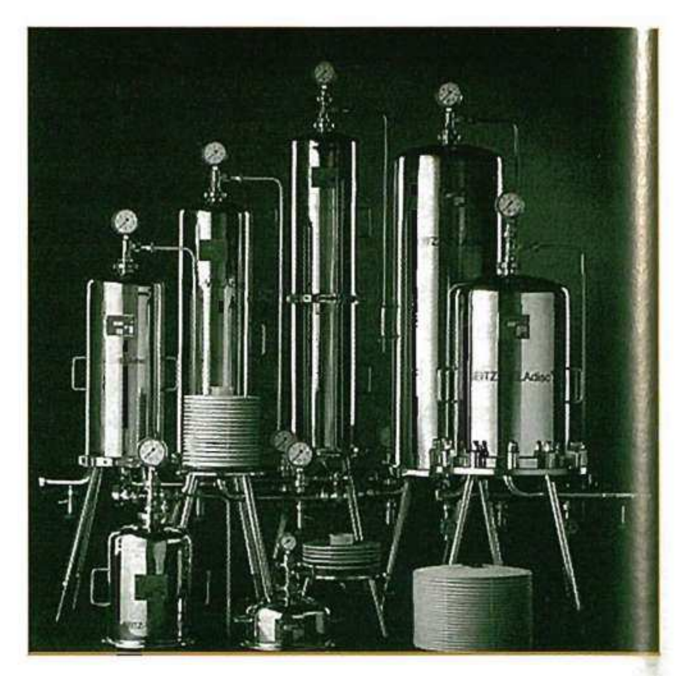


Figura 4.85
Filtro de módulos con paquete de módulos
(Foto: Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)

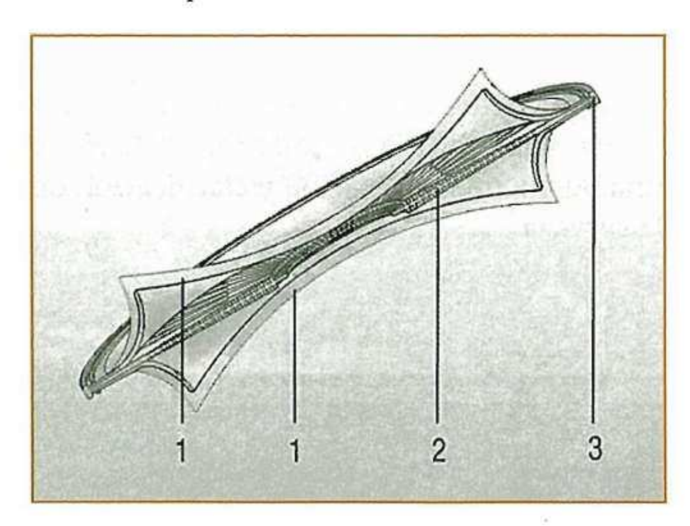


Figura 4.84: Estructura de un módulo filtrante
(1) capa filtrante especial, (2) sistema de drenaje,
(3) sello del módulo

4.5.2.4.2 Filtro de cartuchos de membrana

En el filtro de cartuchos de membrana, la filtración ocurre a través de cartuchos filtrantes, los cuales generalmente son conectados en paralelo e instalados dentro de una misma carcasa (Figura 4.86).



Figura 4.86
Filtro de velas
(Foto: Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)

Los cartuchos filtrantes (Figuras 4.87 y 4.87a) tienen varias capas filtrantes, generalmente de polipropileno, cuya estructura se estrecha de forma continua desde afuera hacia adentro, teniendo así una técnica de retención fraccionada con una gran superficie de filtración. Tales cartuchos se denominan por ello también cartuchos filtrantes de profundidad y se los utiliza en fábricas de cerveza pequeñas y medianas para la posfiltración en lugar del filtro de placas.

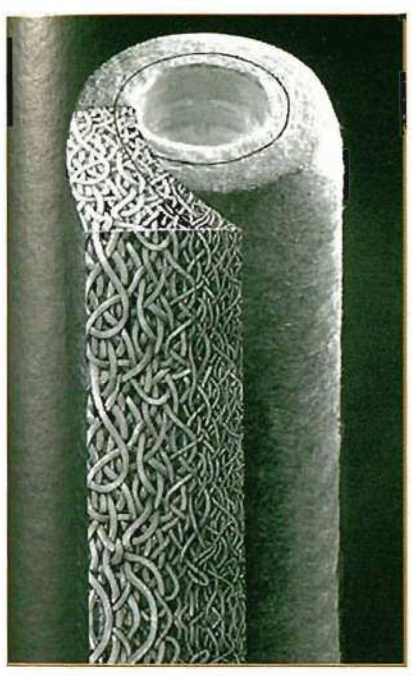


Figura 4.87 Cartucho filtrante de profundidad con reducción progresiva de tamaño de poros, de afuera hacia adentro (Pall Filtrationstechnik, Dreieich)

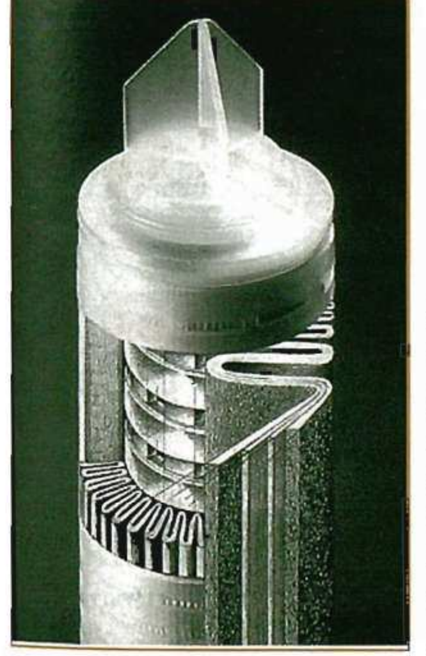


Figura 4.87 a Cartucho filtrante con membrana plisada para aumentar la superficie filtrante (Pall Filtrationstechnik, Dreieich)

En lugar de la disposición por capas, se encuentra en algunos cartuchos el plegado o plisado de las capas filtrantes principales, por lo cual se continúa agrandando la superficie filtrante. Es inclusive posible disponer capas de plisado de forma superpuesta, tal como se muestra en el cartucho filtrante de gran superficie en la Figura 4.88, cuyo diámetro es 26,5 cm.

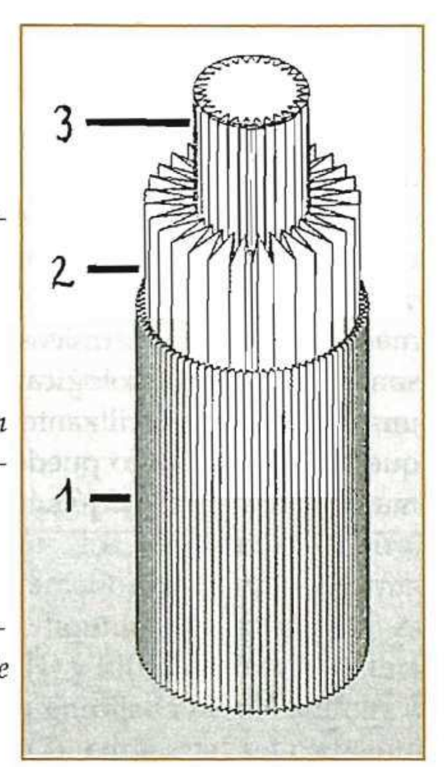


Figura 4.88: Cartucho filtrante de gran superficie
(1) plisado exterior, con refuerzo de fibra de vidrio,
(2) combinación filtro de profundidad y filtro de membrana,
(3) plisado interior, filtro de membrana 0,65 μm

4.5.2.5 Filtro Multi Micro-System-Filter

La empresa Handtmann/Biberach sigue un camino totalmente diferente con el filtro Multi Micro-System-Filter. En este filtro se coloca –de acuerdo con el caudal– una cantidad de cuerpos filtrantes levemente cónicos en un filtro dispuesto de forma vertical (Figura 4.89). Los cuerpos filtrantes (Figura 4.89a, 5) están compuestos de celulosa y kieselgur, y se encuentran comprimidos, formando una masa de varias capas, que tiene aproximadamente 5 cm de espesor. Esta masa está compuesta por:

- una capa gruesa de entrada,
- capas de clarificación cada vez más finas y
- una capa gruesa en la salida, que obra de

4

soporte para el contralavado.

La cerveza filtrada por el kieselgur ingresa centralmente por abajo (1, rojo) en el filtro y a cada elemento filtrante, donde es filtrada durante su pasaje a través de respectivamente un cuerpo filtrante por vez y sale por (3) (amarillo).

Según el campo de aplicación, se ofrecen cuerpos filtrantes con grados de filtración que alcanzan hasta la filtración esterilizante.

4.5.2.6 Áreas de filtración

A la cerveza a ser envasada se le imponen diferentes requisitos en lo referente a su grado de clarificación. En tanto que en algunas cervezas es suficiente un bajo micronaje y la estabilidad biológica es producida por medio de procesos térmicos, otras cervezas son estabilizadas biológicamente mediante una filtración esterilizante. Es entendible que por ello tampoco puede haber un sistema uniforme de filtración.

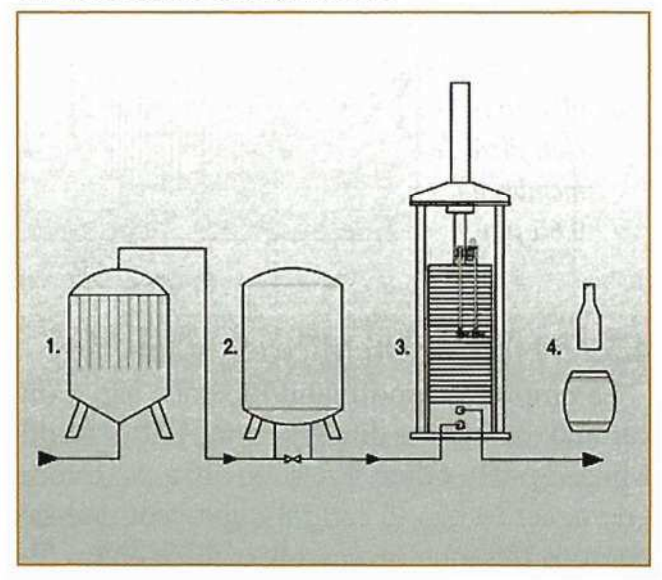


Figura 4.89
Filtro Multi Micro-System-Filter
(Empresa A. Handtmann, Biberach)
(1) filtro de kieselgur, (2) tanque amortiguador, (3) filtro Multi Micro, (4) llenado/envasado

Por el lado de las empresas fabricantes de filtros se ofrecen por este motivo diferentes materiales de filtración en forma de capas, cartuchos o módulos, que permiten lograr el efecto de filtración requerido. En esto rige básicamente:

cuanto menor es el micronaje, tanto menor es el caudal.

Según el micronaje, estos materiales de filtración pueden ser clasificados en las siguientes categorías de filtración, donde las empresas fabricantes de filtros otorgan sus propias combinaciones alfanuméricas a estos materiales:

- filtración gruesa,
- filtración para clarificación,
- filtración fina,
- filtración reductora de gérmenes,
- filtración esterilizante.

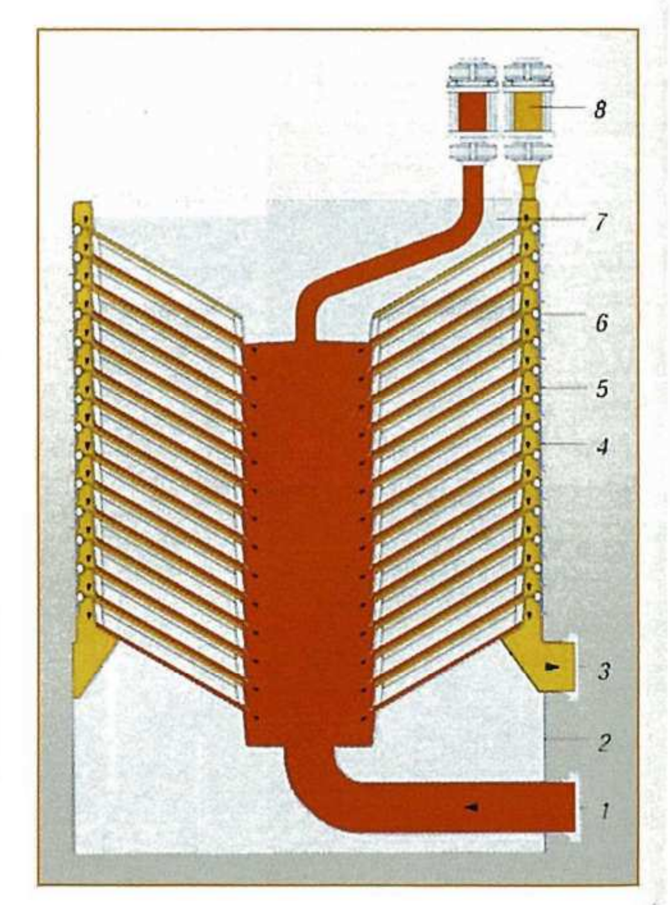


Figura 4.89a: Proceso de filtración en el filtro Multi Micro
(1) entrada de cerveza, (2) placa inferior, (3) salida de cerveza filtrada, (4) salida del filtro, (5) cuerpo filtrante, (6) elemento filtrante de acero inoxidable, (7) placa superior, (8) purga de aire

Cada medio filtrante puede ser clasificado en una de estas categorías.

4.5.2.7 Filtración de cerveza sin utilización de kieselgur

Se hacen esfuerzos crecientes para reemplazar la filtración de la cerveza a través de kieselgur por otros procesos. El motivo no debe ser buscado únicamente en los costos del kieselgur, sino cada vez más también en los costos de eliminación para desecho del kieselgur gastado. Pero, muy en particular, el kieselgur pulverulento en su estructura como cristobalita, una modificación cristalina del dióxido de silicio, ha penetrado en la línea de fuego de la medicina: el kieselgur calcinado, si es aspirado como polvo, causa silicosis (ver al respecto Sección 4.9.3) y fue por ello catalogado en 1997 como cancerígeno –que causa cáncer– por la WHO (Organización Mundial de la Salud).

Para filtrar cerveza sin empleo de kieselgur se siguen hoy en día dos caminos:

– se utiliza la técnica de filtración y se usa otro medio filtrante, por ejemplo Crosspure (BASF, Ludwigshafen), o una mezcla específica (KHS, Dortmund) en lugar de kieselgur, o

– se filtra la cerveza por el método cross-flow a través de membranas de poros finos, que deben cumplir elevadas exigencias (por ejemplo procesos de Norit, Pall Seitz-Schenk, Sartorius).

Proceso de filtración por membrana de flujo cruzado (membrana cross-flow)

En los procesos de filtración examinados hasta ahora, la cerveza fluye a través del medio filtrante o medio auxiliar de filtración y es filtrada (filtración terminal); en la filtración de flujo cruzado, la cerveza fluye junto a una membrana (Figura 4.90), a través de la cual difunde una parte considerable de cerveza (permeato), en tanto que la parte restante de la cerveza con las substancias enturbiantes (retentato) continúa fluyendo (Figura 4.91). Una parte creciente de las substancias enturbiantes se deposita en esto sobre la membrana y dificulta de forma creciente la filtración.

Según la disposición de las membranas se diferencia entre membranas planas y membranas huecas.

A las membranas planas pertenecen predominantemente los módulos espiral (Figura 4.62), llamados así por su forma constructiva. El líquido no purificado es introducido por (1) y filtrado a través de una membrana plana enrollada de polisulfona o poliacrilonitrilo (3), en la cual un elemento distanciador (2) –feedspacer– se encarga de

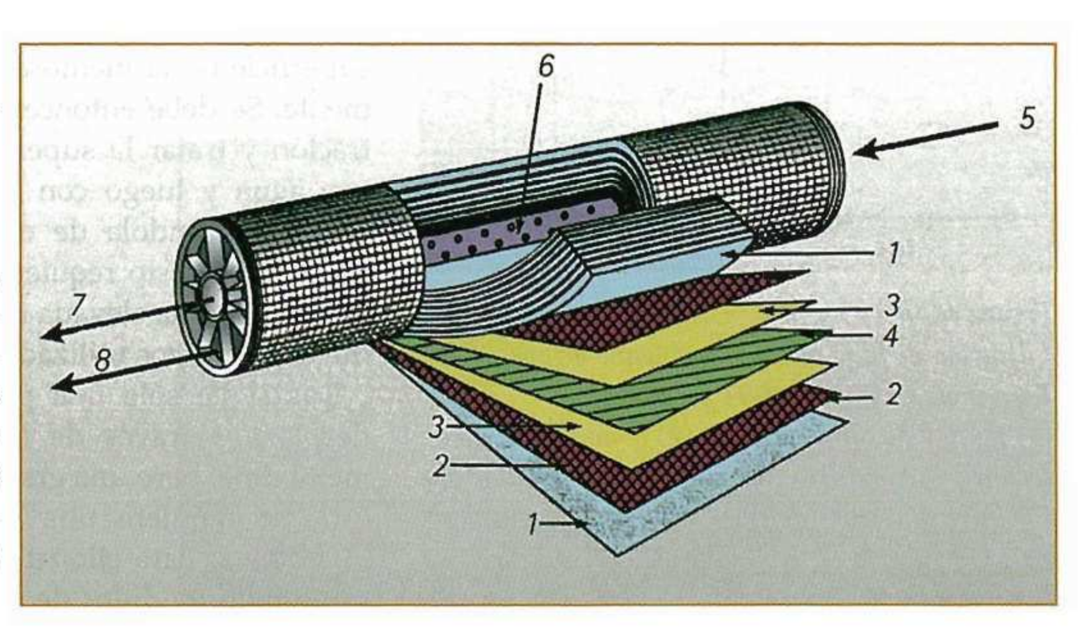


Figura 4.62
Estructura esquemática de un módulo espiral

(1) membrana límite, (2) elemento distanciador, (3) membrana, (4) espaciador de permeato, (5) líquido no purificado, (6) tubo colector perforado, (7) permeato, (8) retentato

mantener una diferencia de espacio. El permeato (líquido filtrado) es acumulado a ambos lados del espaciador de permetato (4) y evacuado finalmente a través de un tubo colector perforado (6) de manera tal que el permeato (7) y el retentato (8) pueden ser descargados de forma separada. Tales módulos espiral son utilizados frecuentemente para el tratamiento de agua.

Por el contrario, las membranas huecas se desarrollan hoy en día generalmente como fibras huecas con tamaños de poro de 0,4 - 0,6 µm. Las membranas delgadas permiten por ello una densidad de concentración extremadamente alta de hasta 10.000 m^2/m^3. Cientos de estas fibras huecas son reunidas en módulos de fibras huecas (ver también Figura 4.91c). Los procesos por membrana descriptos a continuación son aquellos con módulos de fibras huecas.

En la filtración de flujo cruzado, el líquido a filtrar no es pasado a través de la capa filtrante, sino junto a ésta (Figura 4.90). Los poros finos en la capa filtrante causan que una parte del líquido se desplace a través de los mismos (líquido filtrado o permeato) y sea así filtrada, en tanto que el líquido restante enriquecido con substancias enturbiantes (líquido no filtrado o retentato) queda atrás. Con filtración creciente en recirculación, el retentato se enriquece cada vez más con substancias enturbiantes.

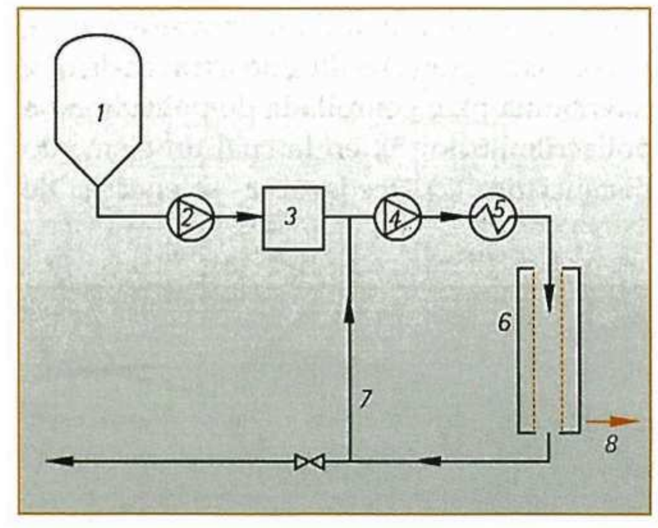


Figura 4.90
Filtración de flujo cruzado (principio de operación)
Referencia en Figuras 4.91 y 4.91a
(1) tanque de alimentación, (2) bomba de alimentación , (3) prefiltro, (4) bomba de recirculación, (5) intercambiador de calor, (6) filtro de membrana , (7) tubería de recirculación, (8) descarga de líquido filtrado



Figura 4.90a
Substancias de turbidez separadas superficialmente sobre la membrana
(Fotografía de microscopio electrónico de barrido Schenk Filterbau , Waldstetten)

Durante el desarrollo de la filtración, la superficie de la membrana se obtura lentamente. Se debe entonces interrumpir la filtración y tratar la superficie primeramente con agua y luego con lejía caliente o con ácido, liberándola de esta manera nuevamente. Pero esto requiere que las membranas tengan una elevada resistencia a los productos químicos utilizados.

Dado que sólo una parte del líquido se desplaza a través de las aberturas de la membrana, pero una gran parte pasa junto a ésta, se requiere una gran superficie de membrana. Para ello se utilizan hoy en día sobre todo módulos de cerámica resistentes

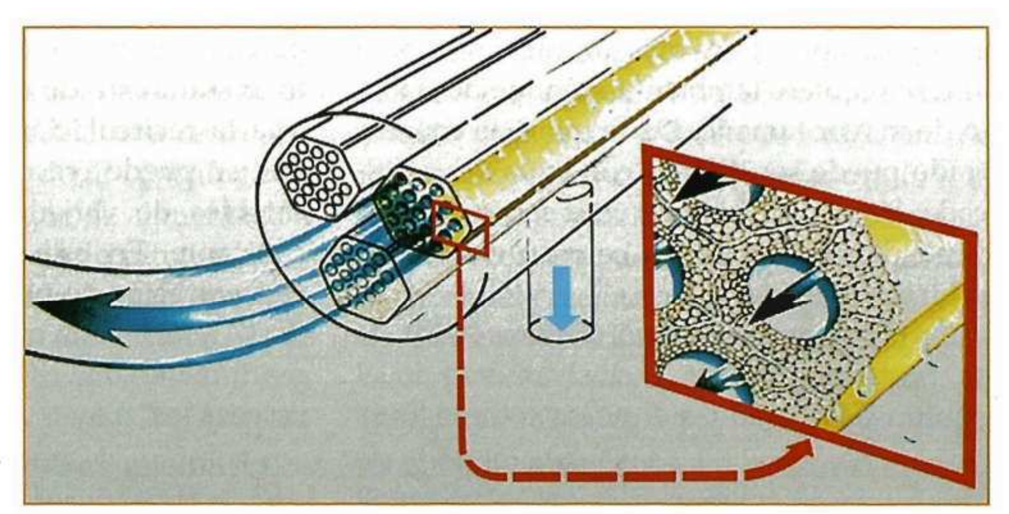


Figura 4.90 b
Filtración de flujo cruzado utilizando elementos FFT Keraflux Batch (FFT = filtración de flujo tangencial), Pall SeitzSchenk Filtersystems, Waldstetten)

(Figura 4.90b) o fibras huecas, tipo *spaghetti*, de poliétersulfona (PES), poliacrilato, α-óxido de aluminio u otros polímeros, de 50 a 200 μm de diámetro y 1 a 3 m de longitud. Estas fibras huecas están unidas en haces de a cientos en estos módulos y realizan una muy buena filtración con tamaños de poro que varían de 0,4 a 0,8 μm, según la aplicación. Pero con la filtración en progreso, la superficie filtrante se obtura (Figura 4.90a) y la presión aumenta. La filtración es interrumpida y las superficies filtrantes son limpiadas con productos de limpieza químicos para posibilitar una nueva filtración.

Todo lo que fluye paralelamente a las membranas se denomina retentato. Lo que pasa a través de los poros de la membrana se llama permeato o líquido filtrado.

En los procesos de filtración por membrana de flujo cruzado (CMF) existen básicamente dos modos:

- procesos por lotes y
- procesos continuos.

En el proceso por lotes (proceso batch) (Figura 4.91) se retorna de forma continua una corriente parcial enriquecida progresivamente con levadura al tanque de trabajo, luego de la filtración de flujo cruzado. En el tanque se trabajo se produce con ello también una concentración progresiva. El concentrado se acumula en la parte cónica del tanque y se lo puede descargar periódicamente al tanque de levadura usada. El proceso tiene la ventaja de posibilitar una elevada concentración y de que las pérdidas en el concentrado son pequeñas. El proceso es

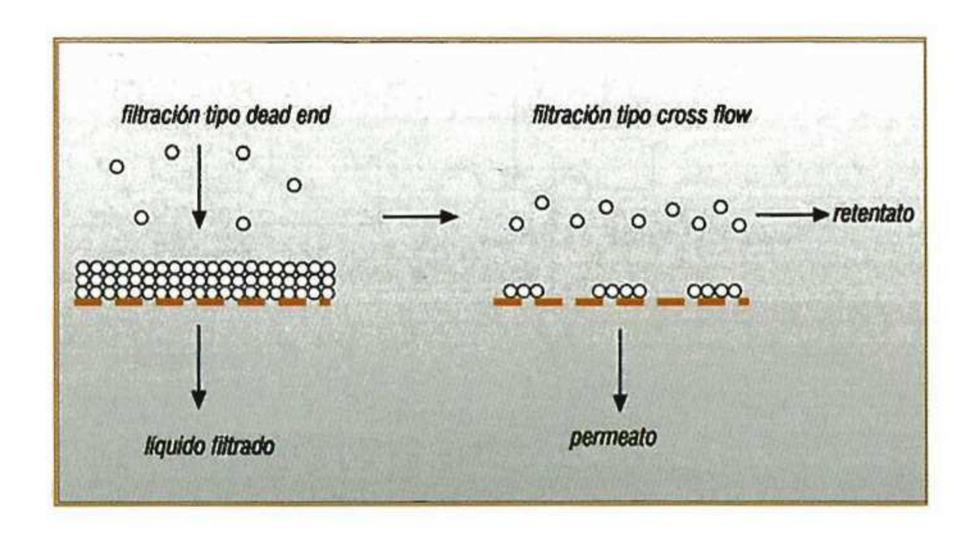


Figura 4.910
Filtración terminal y filtración de flujo cruzado

apropiado para lotes más grandes, pero para ello se requiere también un tanque de trabajo de mayor tamaño. Dado que este concentrado puede ser diluido con agua desgasificada, las pérdidas de cerveza son reducidas y pueden tender casi a cero en el caso de dilución fuerte.

En el proceso continuo (Figura 4.91a), la concentración ocurre exclusivamente en el equipo CMF, dado que no se retorna flujo parcial alguno al tanque, sino que el retentato es suministrado de nuevo inmediatamente a la recirculación. La ventaja en esto es que se puede reaccionar rápidamente ante cambios de variedad y el rendimiento es constante. En esto es desventajoso que la concentración no pueda ser llevada más allá de 17 a 18% de la materia seca sin afectar el rendimiento. De esta manera, la pérdida de cerveza es mayor en comparación con el proceso por lotes.

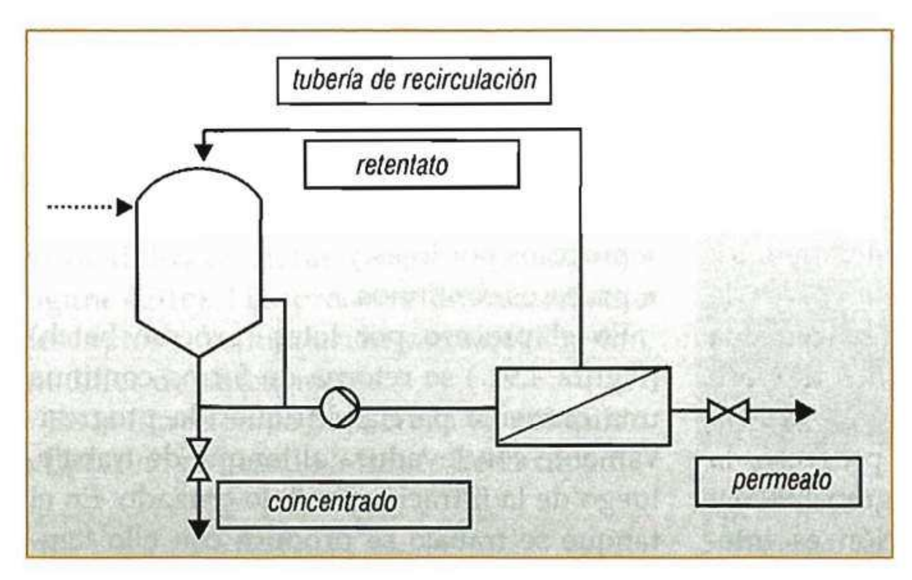


Figura 4.91 Filtración de flujo cruzado - proceso por lotes
(1) permeato, (2) retentato, (3) concentrado, (4) tubería de recirculación

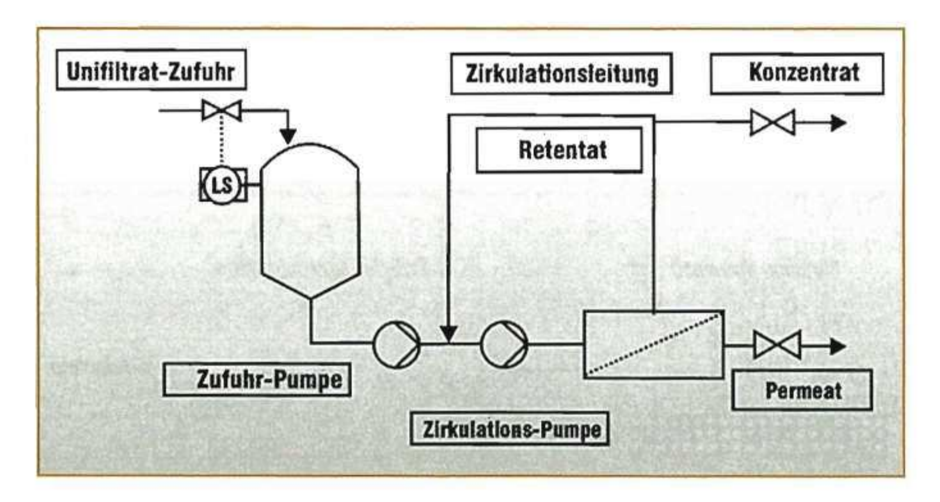


Figura 4.91a
Filtración de flujo cruzado - proceso continuo
(1) permeato, (2) retentato, (3) concentrado, (4) tubería de recirculación, (5) bomba de recirculación

En la filtración de cerveza sin empleo de kieselgur se utilizan ambos procesos.

En el Profi-System, desarrollado por Pall Seitz-Schenk en colaboración con Westfalia Separator Food Tec, para la filtración sin utilización de kieselgur se libera la cerveza no filtrada, proveniente de un tanque de alimentación, en una separadora centrífuga primero de aproximadamente el 99,5 % de las células de levadura, siendo separadas en esto también todas las partículas de tamaño menor que 1 μm. Se utiliza en esto una alimentación denominada hidrohermética, en la cual, debido al incremento de volumen en la entrada a la separadora centrífuga, no se aumenta tan abruptamente la velocidad y se previene de este modo ampliamente el efecto de esfuerzos de corte. De esta manera no se afectan partículas sensibles, tales como proteínas de alto peso molecular y compuestos polifenólicos. En la entrada y la salida de

la separadora centrífuga se realizan mediciones de turbidez; en el caso de elevada turbidez en la salida, se efectúa una recirculación. El caudal a través de la centrífuga es ajustado al nivel del tanque de alimentación y con ello al caudal de líquido filtrado.

El equipo de filtración de cerveza está construido como equipo de filtración por membrana de flujo cruzado (CMF) con módulos [273]. Cada bloque de CMF (Figura 4.91b) está compuesto por 24 módulos con los correspondientes dispositivos de regulación. En los módulos, la cerveza fluye a través de las más de 2000 membranas de fibra hueca (Figura 4.91c) de poliétersulfona. Los módulos están construidos de manera tal que en los extremos superior e inferior tiene lugar una integración rígida de las fibras huecas (Figura 4.91c, 3); la descarga del permeato ocurre a través de una salida lateral.

En tanto que una parte de la cerveza es bombeada a una velocidad de 1,3 m/s con sobrepresión a través de los finos poros (0,65 µm) de la membrana, las células de levadura (6 - 10 µm) y otras partículas enturbiantes permanecen en la corriente de cerveza y son retornadas al circuito de retentato en el proceso continuo de CMF, enriqueciéndose en esto progresivamente sobre las membranas. Antes de que se produzca el bloqueo de las membranas –luego de aproximadamente 4 a 5 horas–, el módulo es contralavado y se conmuta en esto a otro módulo. A los efectos de prevenir pérdidas de cerveza se puede pasar hacia el lado del líquido filtrado, a través de la membrana, una parte de la cerveza no filtrada, que se encuentra aún en el equipo. Las pérdidas de cerveza son especificadas con 0,4% (cerveza en el concentrado con modo de operación continua y cerveza durante el drenaje previo a la limpieza).

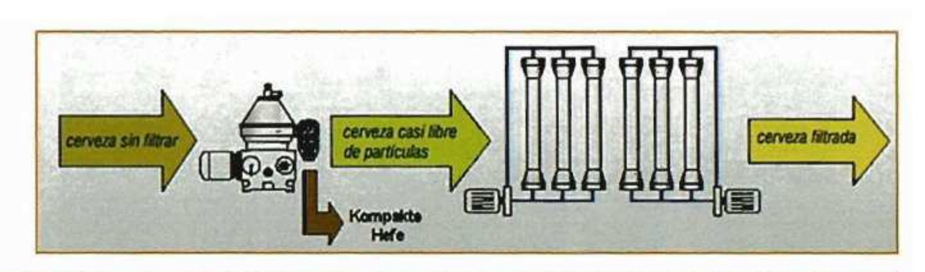


Figura 4.91b
Filtración por membrana con separadora centrífuga y bloque CMF de 24 módulos

Figura 4.91c
Módulo de fibras huecas
(1) fibra hueca, corte (diámetro interior, aproximadamente 1,5 mm)
(2) sección a través de un módulo de fibras huecas,
(3) módulo de fibras huecas, corte,
(Pall SeitzSchenk)

Una etapa de proceso importante es la limpieza de todas las impurezas que se encuentran sobre las membranas sensibles para obtener nuevamente una superficie filtrante libre. En este proceso se obtiene con soda cáustica sólo un resultado bueno de breve duración, porque las membranas se bloquean nuevamente al cabo de poco tiempo. Se obtienen mejores resultados con una combinación de limpiador alcalino y superóxido de hidrógeno a temperaturas de alrededor de 80°C. Aun así, las membranas, que soportan hasta 10 bar, deben ser reemplazadas por nuevas luego de aproximadamente 4000 horas de uso, debido a un bloqueo y un envejecimiento progresivos.

En el proceso de filtración de cerveza por membrana (BMF) de la empresa Norit Process Technology, Enschede NL [274] se procede de modo similar; sin embargo, se prescinde de una separación previa de la cerveza no filtrada. La cerveza no filtrada se filtra en proceso CMF por lotes, a través de módulos de membrana de poliétersulfona (PESU/PVP) –permanentemente hidrófilos– de 1 m de longitud y diámetro interior de las fibras de 1,5 mm con tamaños máximos de poro de 0,5 µm. La superficie filtrante se especifica con 9,3 m^2 por módulo. Un bloque de filtro (BMF 120) tiene 12 módulos (Figura 4.91 d) y soporta un caudal de 100 (a 120) hl/h.

La cerveza sin filtrar es suministrada desde el tanque de trabajo (Figura 4.91f) por medio de una bomba de alimentación y es bombeada por la bomba de recirculación a través de las fibras de membrana de los módulos. Las numerosas fibras de membrana de los módulos han sido reducidas a una sola a los efectos de la aclaración. El líquido filtrado se filtra a través de los poros de la membrana y es descargado, en tanto que el líquido no fil-

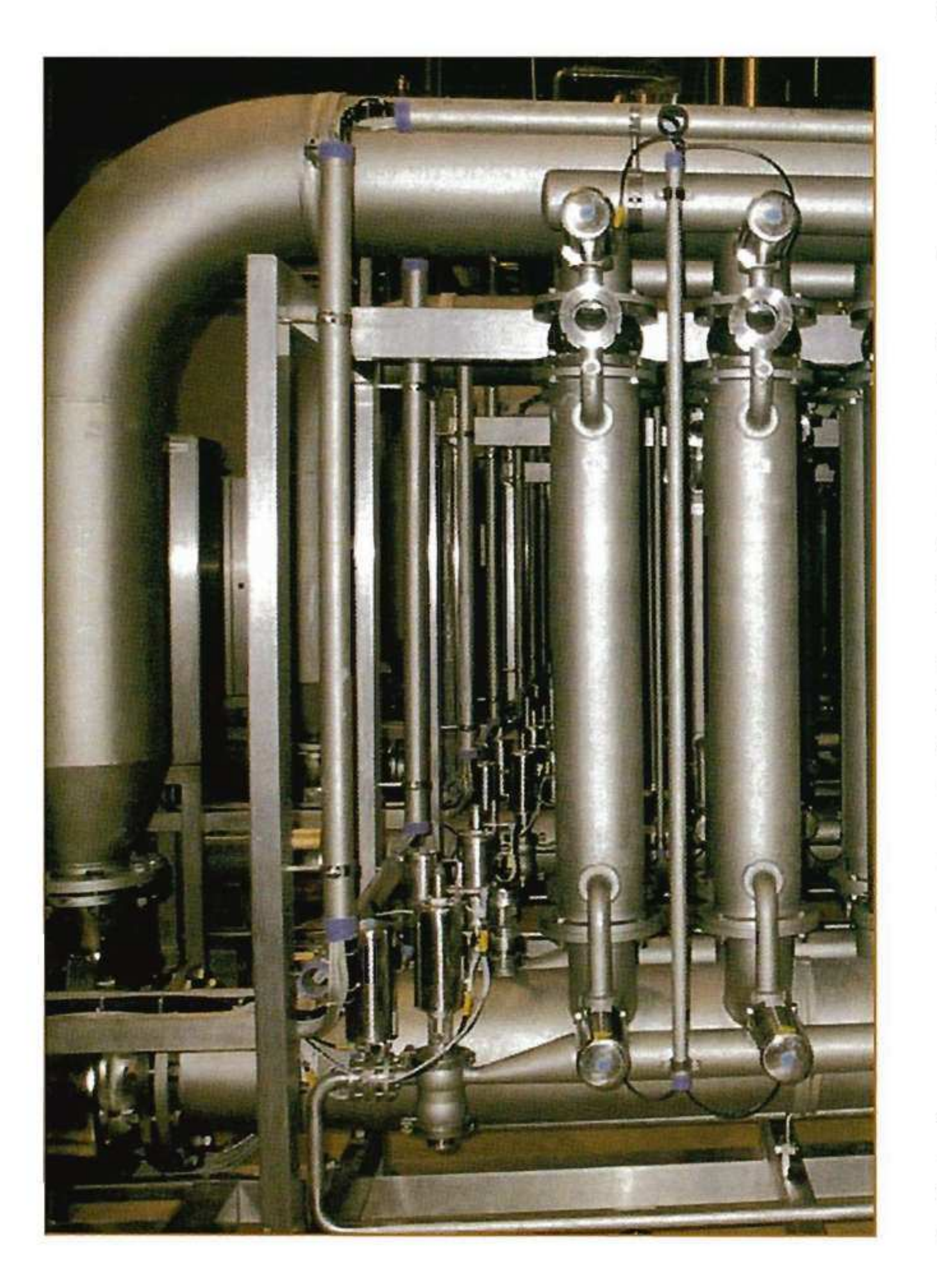


Figura 4.91dd
Equipo de filtración por membrana de 2ª generación
(Norit, Enschede NL)

t· do (a ser refrigerado) se enriquece cada v·. más en el ciclo, aumentando en esto la p·esión.

·as membranas de poliétersulfona (PES) s·· extremadamente resistentes y estables. Si a·· así una membrana se rompe, esto se nota e· la medición de turbidez. En ese caso se d··e desconectar inmediatamente el módulo a··ctado y se lo debe reemplazar durante el fi· de semana. Esto último no es posible de re·lizar durante la semana laboral, debido a la operación continua de día y noche.

Un ciclo de filtración dura aproximadamente dos horas. Luego es necesario un contralavado y se inicia un nuevo ciclo. Después de aproximadamente cinco contralavados, la presión sobre la membrana separadora, causada por el progresivo bloqueo de los poros, es tan alta, que es necesaria una limpieza general (Figura 4.91e). El caudal del equipo se especifica con 120 hl/h (BMF 120) y la pérdida de cerveza con 0,2 a 0,4%.

Los equipos de filtración por membrana de 2ª generación (Norit, Enschede, Países Bajos) están construidos para caudales substancialmente mayores de 220 a 250 hl/h y tienen 18 a 20 módulos/skid (Figura 4.91 dd). Debido a un nuevo desarrollo de los

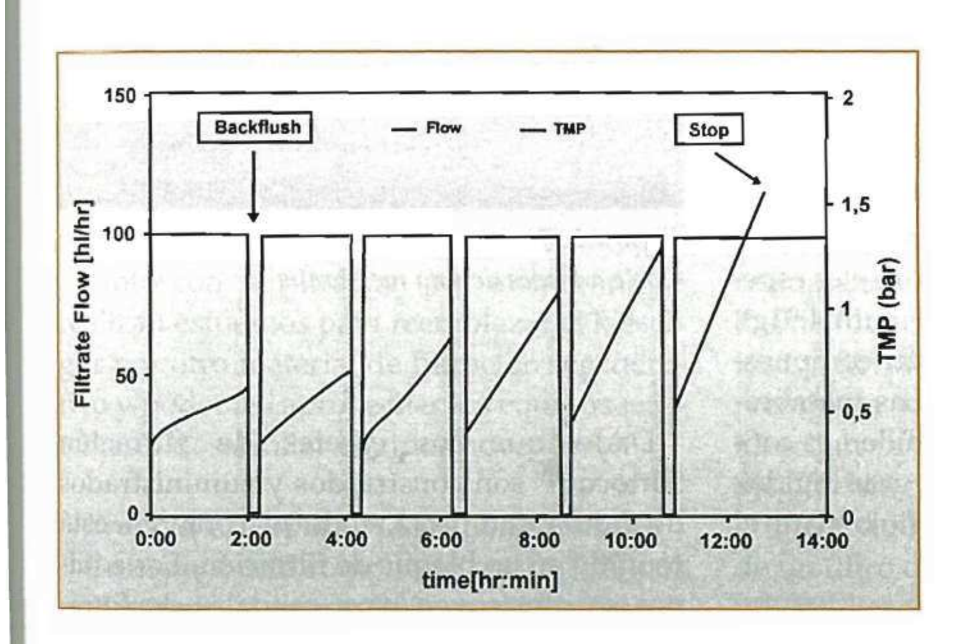


Figura 4.91e
Principio de la secuencia de limpieza en el BMF (Norit, Enschede NL)

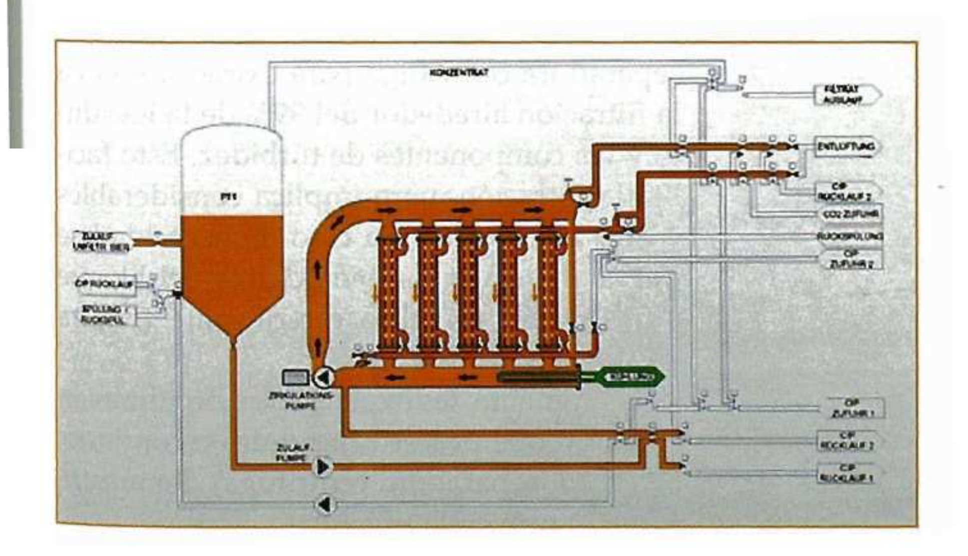


Figura 4.91f
Recirculación en la filtración de flujo cruzado (Norit, Enschede NL)

módulos (Figura 4.91d), la solicitación mecánica sobre la membrana es menor. Una limpieza de las membranas es posible hasta 80°C.

Los puntos esenciales a tener en cuenta en el trabajo con membranas de fibra hueca son

- los tamaños uniformes de poro de 0,45 a 0,5 µm para poder extraer todas las células de levadura y los contaminantes,
- una prolongada estabilidad de las membranas frente a una presión en continuo aumento,
- una rápida reacción del sistema por cierre del módulo, tan pronto como se rompe una membrana, para evitar la formación de turbideces en la cerveza filtrada y
- un proceso de limpieza optimizado para poder regenerar todos los poros.

El proceso de filtración de flujo cruzado Sartoflow® de la empresa Sartorius, Göttingen, no trabaja con membranas de fibra hueca, sino que filtra a través de casetes especiales de filtración Sartocon® (Figura 4.91g), cuyas membranas también están compuestas por poliétersulfona (PES). Las membranas son planas, pero su profundidad es considerable y por ello tienen una gran rigidez (Figura 4.91h). El sentido de flujo para el líquido filtrado es en la figura de arriba hacia abajo; la flecha roja refleja el sentido de flujo durante la limpieza. Con un tamaño de poros de 0,45 µm, la superficie de las membranas retiene todas las células de levadura e impurezas (Figura 4.91i).

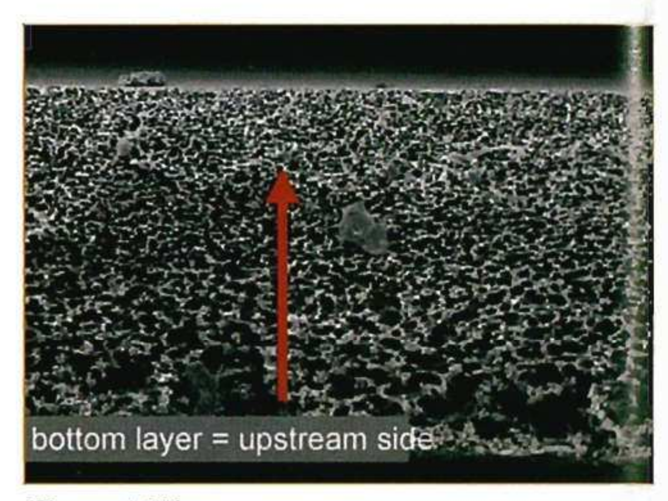


Figura 4.91h
Corte a través de una membrana

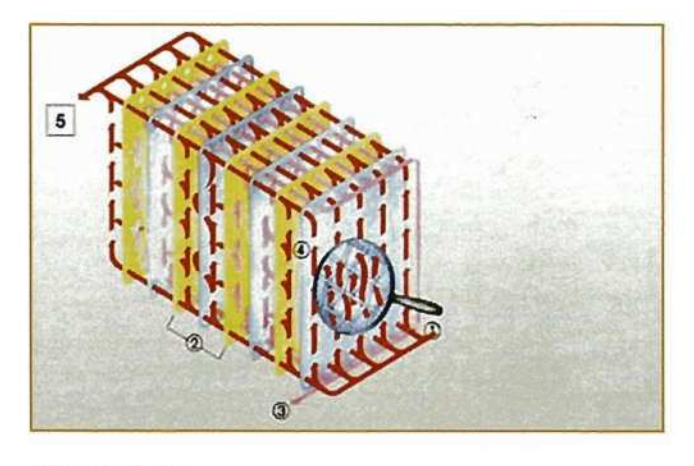


Figura 4.91g
Circulación a través de las membranas en el casete de filtración Sartocon®
(1) alimentación, (2) membrana, (3) permeato, (4) formador de turbulencias, (5) circuito

Dado que los casetes de filtración Sartocon® son construidos y suministrados de forma compacta, todo el conjunto está reunido en un bloque de filtración. Los equipos se construyen para caudales de filtración entre 100 y 500 hl/h. Para el aumento del caudal de filtración está prevista también en este proceso la intercalación de una separadora centrífuga para extraer previo a la filtración alrededor del 99% de la levadura y los componentes de turbidez. Esto facilita la filtración, pero implica considerables costos adicionales. En caso de necesidad se puede intercalar también detrás del bloque de filtración un filtro esterilizante (Figura 4.91k).

Básicamente, las experiencias decidirán en el futuro qué proceso (por lotes o continuo, con o sin separadora centrífuga) demuestra ser más apto en la práctica.

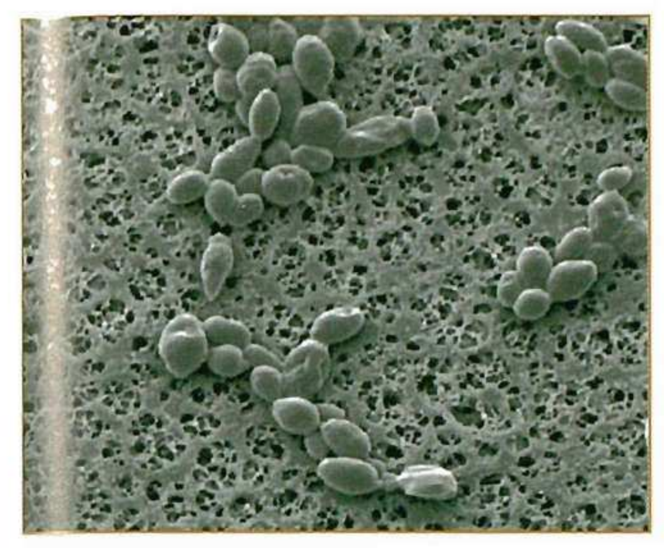


Figura 4.91i
Células de levadura sobre una membrana filtrante (Fotos: Sartorius, Göttingen)

Procesos de filtración a través de otros medios auxiliares de filtración

Junto con la filtración por membrana se realizan esfuerzos para reemplazar el kieselgur por otro material de filtración regenerativo y poder así aprovechar los equipos existentes o desarrollar equipos novedosos.

Proceso Crosspure, BASF, Ludwigshafen

Crosspure está compuesto en un 70% por poliestireno y en un 30% por Divergan F (PVPP). Debido a su porción de PVPP, el Crosspure tiene un buen efecto estabilizador, aparte de buenas propiedades de filtración. El consumo de Crosspure en la formación de precapa primaria es aproximadamente 2 kg/m^2 y el consumo continuo varía entre 50 y 300 g/hl. No se dispone de información sobre precios.

El volumen aparente de Crosspure es mucho mayor que el de kieselgur. Por ello se deben verificar la superficie filtrante y el volumen existente de trub y se debe ajustar la carga. En caso contrario se puede producir una sobrecarga del filtro y causar daños mecánicos.

Proceso KOMETronic (KHS Dortmund)

Un camino completamente nuevo en la filtración de cerveza sin utilización de kieselgur es seguido por el proceso Kometronic de KHS, Dortmund. En este proceso no sólo se reemplaza el kieselgur por un medio auxiliar de filtración regenerativo a base de celulosa y fibras sintéticas, sino que además se reemplaza también el tradicional filtro de kieselgur por un filtro de construcción completamente diferente –el Kometronic.

El filtro Kometronic trabaja sobre la base de un filtro de precapa y consiste por ello en un tanque de precapa y del filtro en sí

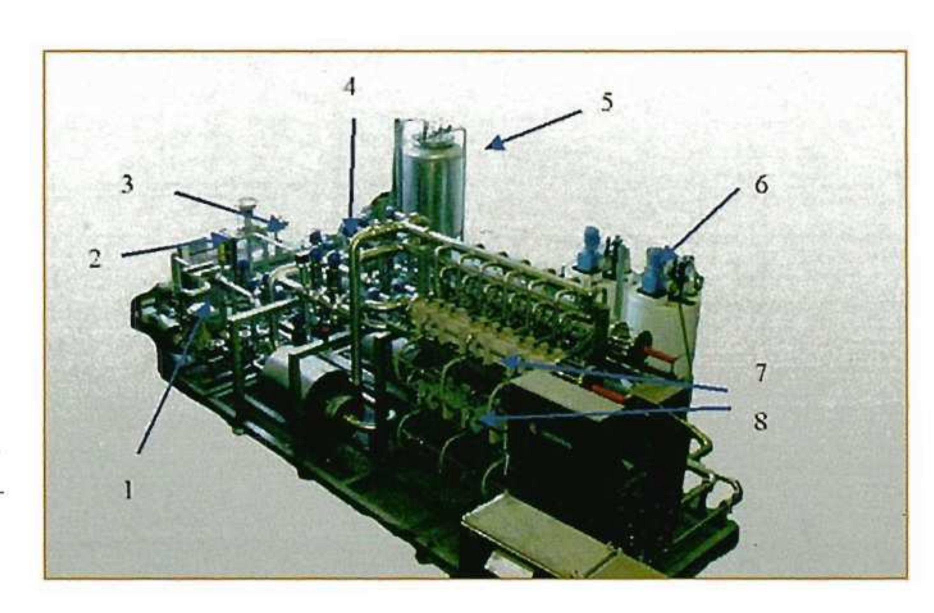


Figura 4.91k
Proceso de filtración de flujo cruzado Sartoflow - Instalación completa

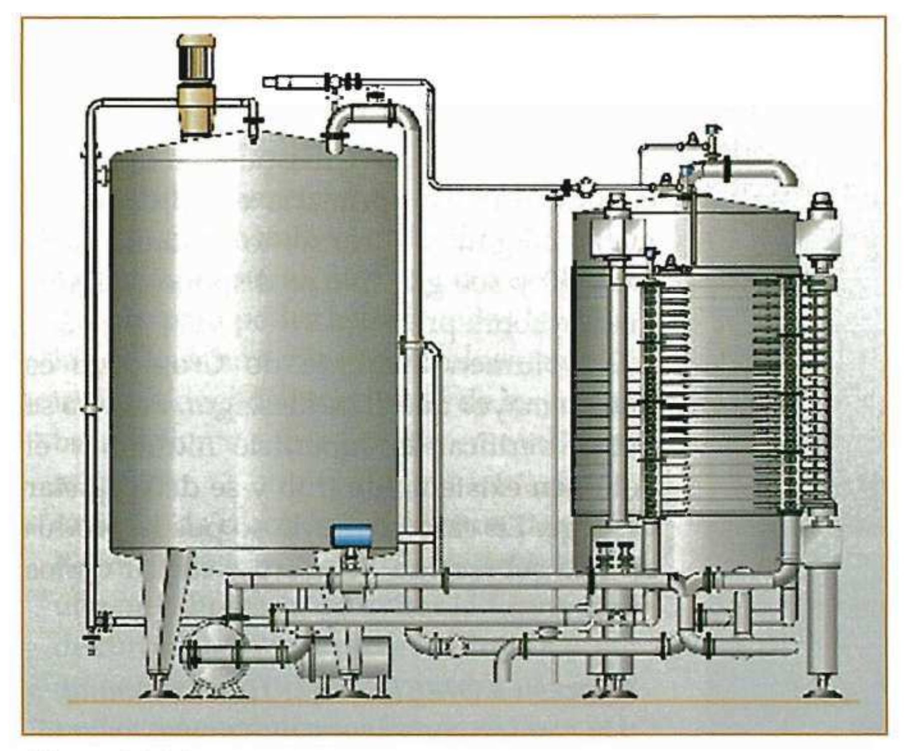
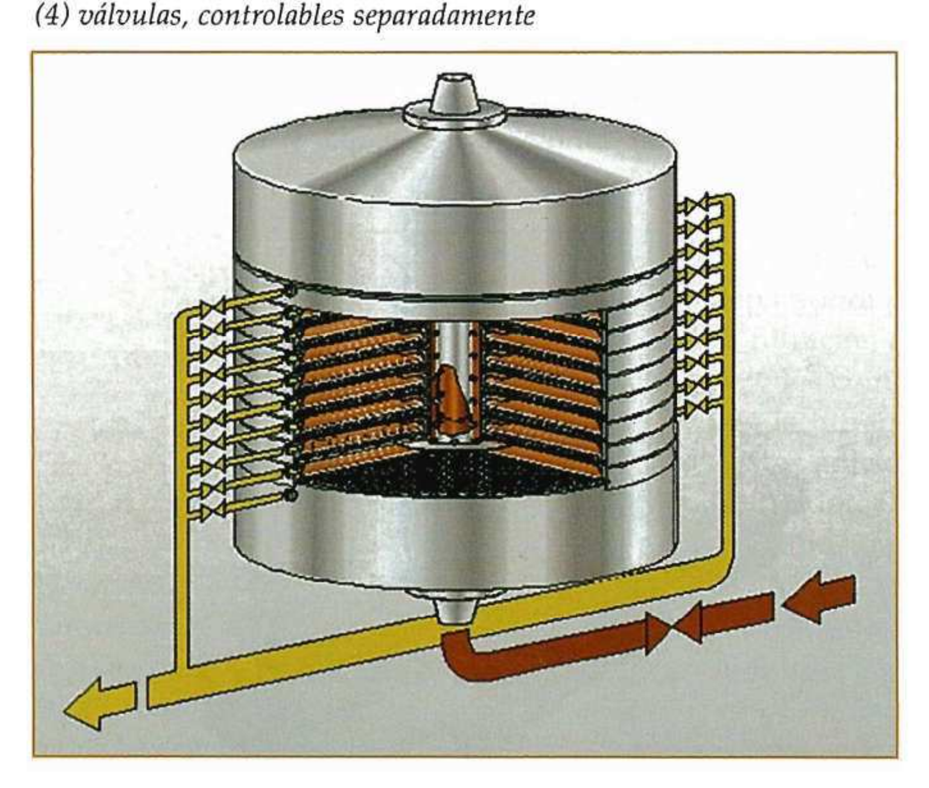


Figura 4.91 l
Instalación completa Kometronic
(1) tanque de precapa, (2) filtro, (3) elemento filtrante

Figura 4.91m
Filtro Kometronic
(1) líquido no filtrado, (2) líquido filtrado, (3) elemento filtrante,
(4) válvulas, controlables separadamente



(Figura 4.91 l). El filtro está compuesto esencialmente por una cantidad de elementos filtrantes dispuestos uno encima del otro (Figura 4.91 m). Según el tamaño del filtro, la cantidad puede fluctuar entre 7 y 38. Estos elementos filtrantes son controlados por un tubo central. El medio auxiliar de filtración formulado es mezclado en un tanque de precapa separado y es vertido, a través del tubo central, sobre los elementos filtrantes de forma uniforme y homogénea y con un espesor de hasta 30 mm. A través del controlador es posible verter sobre los elementos filtrantes de forma individual, grupal, o sobre todos simultáneamente. Este proceso dura aproximadamente 30 minutos.

Durante la subsiguiente filtración, la cerveza fluye a través de la torta filtrante formada y es descargada libre de fibras lateralmente, por debajo del piso de ranura continua (Figuras 4.91 o, a+b). Debido al espesor de torta grande y homogéneo de hasta 30 mm, el filtro es ampliamente insensible a golpes de ariete. Con 16 hl por m^2 de superficie filtrante y por hora, el caudal específico de filtración es aproximadamente 11 veces tan grande como el de un filtro clásico de capas.

Al comienzo de la filtración, se establece una pre-

sión diferencial de 0,1 a 0,2 bar, la cual aumenta naturalmente durante la filtración. La torta filtrante permanece en el filtro hasta una diferencia de presión de aproximadamente 2 bar. Luego ocurre una regeneración con agua tibia (50°C) y una esterilización con agua caliente (95°C). Cuando la presión diferencial de 2 bar ya no puede ser disminuida, debido a la progresiva ocupación de la torta filtrante –esto sucede al cabo de aproximadamente 100 horas de filtración–, la masa filtrante es regenerada dentro del filtro con lejía caliente y se la mezcla nuevamente en el tanque de precapa vecino. La extracción de la torta filtrante es efectuada por rotación del paquete filtrante y por toberas rociadoras que rompen la torta filtrante. Este proceso también puede ser realizado para elementos filtrantes individuales o en el paquete completo y dura aproximadamente cinco minutos.

Con el proceso Kometronic se puede –según se desee– únicamente prefiltrar la cerveza o estabilizarla, o hacer una filtración final de la misma. Si se quiere realizar las tres etapas con el Kometronic, se deben utilizar para las tres etapas de filtración también tres equipos ubicados uno al lado de otro con micronaje decreciente (Figura 4.91 p). Ya ha sido detallado el hecho de que en esto corresponde para cada filtro un tanque de precapa separado. Asimismo es necesaria una composición diferente del medio auxiliar de filtración para cada una de las tres etapas de filtración –de acuerdo con las diferentes tareas a cumplir. El Kometronic está totalmente automatizado y su control se realiza desde un puesto central de mandos.

Las ventajas del proceso en comparación con la filtración a través de kieselgur radican en:

- la reducción de los costos de filtración en aproximadamente 50% por supresión de los costos para el kiesel-

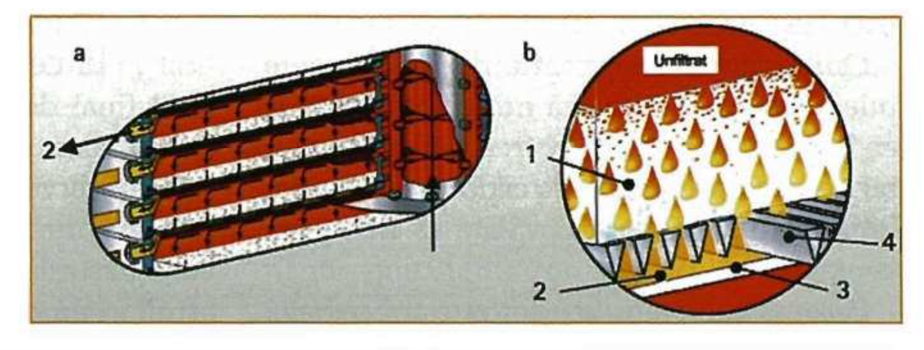


Figura 4.91 o
Descarga de líquido filtrado en el Kometronic
(a) corte, (b) detalle, (1) medio auxiliar de filtración, (2) líquido filtrado, (3) placa separadora, (4) piso de ranura continua

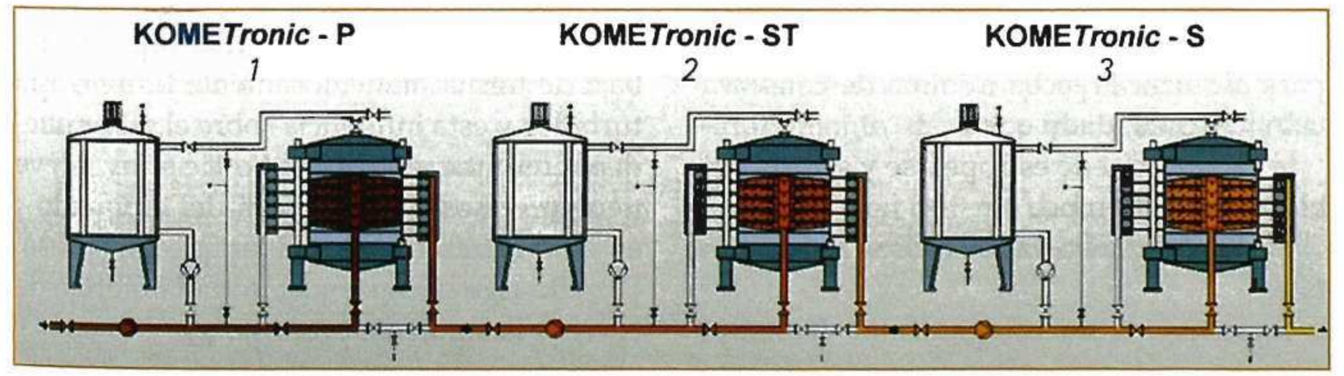


Figura 4.91p
Filtración esterilizante por medio del Kometronic
(1) filtración de clarificación, (2) estabilización, (3) filtración esterilizante

gur e introducción de un medio auxiliar de filtración regenerable, por lo tanto menor consumo de productos de limpieza, y

menor demanda de personal, debido al control del equipo por ordenador;

- supresión del kieselgur, por ello
  ausencia de problemas de salud (riesgo de cáncer),
  ausencia de residuos especiales (lodos de kieselgur);
- construcción compacta, por ello
  se requiere únicamente el 10% de superficie filtrante en comparación con filtros de capa,
  muy elevada carga específica de superficie filtrante (16 hl/m²*h);
- diseño para control por ordenador, por ello
  reducido gasto de operación y mantenimiento,
  resultados de filtración controlados.

4.6 Estabilización de la cerveza

Quien como cervecero de restaurante puede servir su cerveza inmediatamente y, en lo posible, sin filtrar y fresca en una jarra, no necesita preocuparse respecto de la estabilización de la cerveza. ¡Esto es una gran ventaja!

Pero, si queremos vender nuestra cerveza lejos del centro de producción, la estabilización de la cerveza cumple un papel decisivo para alcanzar la fecha mínima de conservación indicada, dado que

la cerveza puede estropearse y ser imbebible en breve tiempo.

Existen para ello varias causas fundamentales:

- cualesquiera microorganismos (contaminantes) aun presentes en la cerveza pueden propagarse, enturbian la cerveza y la convierten en imbebible por excreción de productos metabólicos,
- cualesquiera coloides contenidos en la cerveza se agrandan con el tiempo debido a diferentes factores y enturbian la cerveza, y
- con el tiempo, el sabor de la cerveza experimenta un deterioro.

La brillantez de la cerveza es, junto con el sabor y la espuma, un factor decisivo de valoración, que también cualquier consumidor puede verificar fácilmente sin ayuda alguna dentro del límite de la fecha mínima de conservación. Quien bebe cerveza considera una turbidez visible de la cerveza como un defecto cualitativo grave. Éste puede causar un daño de imagen y la pérdida del cliente. Por ello debemos hacer todo lo posible para garantizar la estabilidad dentro del tiempo mínimo de conservación. Para eso disponemos de dos medios, que son:

- la estabilización biológica de la cerveza y
- la estabilización coloidal de la cerveza.

Aparte de ello debemos realizar todos los esfuerzos para mantener también la estabilidad de sabor por un largo período.

4.6.1 Estabilización biológica de la cerveza

Al final de la cocción del mosto, éste es estéril. Los microorganismos deteriorantes para la cerveza sólo pueden ingresar a ella por falta de limpieza. Se propagan en la cerveza hasta la formación de turbidez y desarrollan productos metabólicos que pueden convertir la cerveza en completamente imbebible. Si no se tiene cuidado y no se trabaja de forma meticulosamente limpia, esta turbidez y esta influencia sobre el sabor pueden presentarse ya al cabo de muy breve tiempo –unos días después del envasado–, en caso extremo, ya en el tanque de reposo. Por ello rige siempre y en toda la fábrica de cerveza la siguiente premisa:

¡La máxima en la fábrica de cerveza es la limpieza meticulosa en todas las áreas!

La estabilidad biológica de la cerveza se acorta:

- or un modo de trabajo sucio,
- or sobrecarga de la instalación de filtrado e la cerveza,
- or la mayor diferencia entre V_s^{end} - $V_s^{alcanz.}$ reposo demasiado breve o trasiego demasiado verde),
- por aireación de la cerveza, sobre todo durante el envasado,
- por almacenamiento a temperatura más elevada,
- por movimiento permanente.

De estos factores, el que más puede ser influenciado por el cervecero es la limpieza durante el trabajo. ¡Ella debe constituir un principio de trabajo permanente! Los microorganismos pueden llegar a la cerveza a través de los mismos trabajadores y su vestimenta, o no son eliminados debido a un trabajo descuidado. Por ello se detalla brevemente aquí qué es lo que debe entender el cervecero por trabajo limpio con respecto a la formación de turbideces biológicas:

- mantener la limpieza y el orden personal y cuidar la higiene corporal; usar permanentemente ropa de trabajo limpia;
- calzar botas en la limpieza de cubas y tanques, y limpiarlas posteriormente; guardar los equipos de limpieza, tales como escobas y cepillos, en estado limpio en solución desinfectante y limpiarlos nuevamente luego del uso; no utilizar cepillos gastados, quitar de forma mecánica todas las suciedades y depósitos de las paredes de tanque hasta que ya nada sea visible; prestar atención a pequeñas aberturas y ranuras;
- desmontar, limpiar, desinfectar y engrasar con grasa de silicona los grifos de macho y los grifos para toma de muestra;
- cepillar y desinfectar probetas y mangueras;
- mantener de forma precisa el esquema de planta establecido para los trabajos de limpieza y desinfección;
- verificar permanentemente la efectividad de las soluciones de limpieza y desinfección; eliminar todas las posibles fuentes de contaminación.

Si todo el personal de la fábrica de cerveza observa estas exigencias, se da con ello un paso decisivo hacia la mejora de la estabilidad biológica de la cerveza.

Como organismos dañinos para la cerveza se presentan particularmente:

- levaduras salvajes, como *Saccharomyces diastaticus* o *Saccharomyces pastorianus*, y
- bacterias dañinas para la cerveza, tales como *Pectinatus, Megasphaera, Lactobacillus brevis, Lactobacillus frigidus, Pediococcus damnosus* y otras (ver Sección 7.42), las que enturbian la cerveza y pueden hacerla imbebible a través de sus productos metabólicos.

Naturalmente debe determinarse ahora en qué lugar ingresan estos organismos extraños a la cerveza para descubrir la fuente de contaminación y tomar las medidas apropiadas para contrarrestar esto. La tarea principal del control microbiológico de planta consiste en este control diferenciado del proceso de fabricación y de la estabilización de la cerveza (Sección 7.3).

Dado que la cerveza debe mantenerse en estado impecable al menos hasta la fecha mínima de conservación, todos los contaminantes que ingresaron a la cerveza deben ser eliminados o convertidos en inofensivos.

Para ello, el cervecero dispone de las siguientes posibilidades:

- tratamiento de calor por pasteurización,
- tratamiento de calor por pasteurización flash,
- envasado en caliente de la cerveza,
- filtración y envasado esterilizados en frío de la cerveza.

4.6.1.1 Pasteurización

Por pasteurización se entiende el exterminio de microorganismos en soluciones acuosas por medio de calentamiento. El término

proviene de Louis Pasteur, quien descubrió que se puede estabilizar líquidos biológicamente a través un calentamiento; por otra parte, los líquidos ácidos ya se esterilizaban a menor temperatura que los neutrales o básicos (en la cerveza: 10 a 20 min a temperaturas de 60 a 62°C).

En ensayos posteriores se comprobó que el tiempo para el exterminio de los microorganismos disminuye exponencialmente si se eleva levemente la temperatura. Por lo tanto, si se expone la cerveza a una temperatura más elevada, los microorganismos son exterminados en un tiempo más breve.

4.6.1.2 Pasteurización flash

En la pasteurización flash, la cerveza es calentada por medio de un intercambiador de calor de placas a mínimamente 68 a 72°C y se la mantiene a esa temperatura durante aproximadamente 50s; posteriormente se vuelve a enfriar.

4.6.1.2.1 Equipo para la pasterurización flash

El calentamiento y el enfriamiento de la cerveza ocurren generalmente a través de intercambiadores de calor de placas, los cuales posibilitan un intercambio intensivo de calor.

En el equipo (Figura 4.92) la cerveza fría es precalentada en la primera sección (2) por cerveza caliente y en la segunda sección (3) es llevada a la temperatura de pasteurización por medio de agua caliente exactamente regulada (10); esta temperatura de pasteurización es mantenida en el posterior dispositivo de mantenimiento en caliente (4) durante el tiempo prefijado. Este dispositivo de mantenimiento en caliente puede ser una sección del intercambiador de calor de placas, pero hoy en día se trata generalmente un dispositivo tubular. Posteriormente, la cerveza (2 + 5) es enfriada nuevamente a la temperatura de envasado. El enfriamiento es realizado hoy en día siempre por la cerveza fría entrante. Debido al mayor tamaño de la sección 2, la cerveza fría entrante a 0°C puede enfriar la cerveza saliente hasta aproximadamente 3 a 4°C y suministrarla así sin problemas al envasado.

Todo el proceso tiene una duración aproximada de sólo 2 min y apenas afecta la calidad de la cerveza. Debido al eficiente recorrido de la cerveza, se puede recuperar hasta el 96% de la energía insumida. Las ventajas de este proceso han contribuido a la exitosa difusión de su uso.

Es importante en esto que en ningún momento la presión sea menor que la presión de saturación

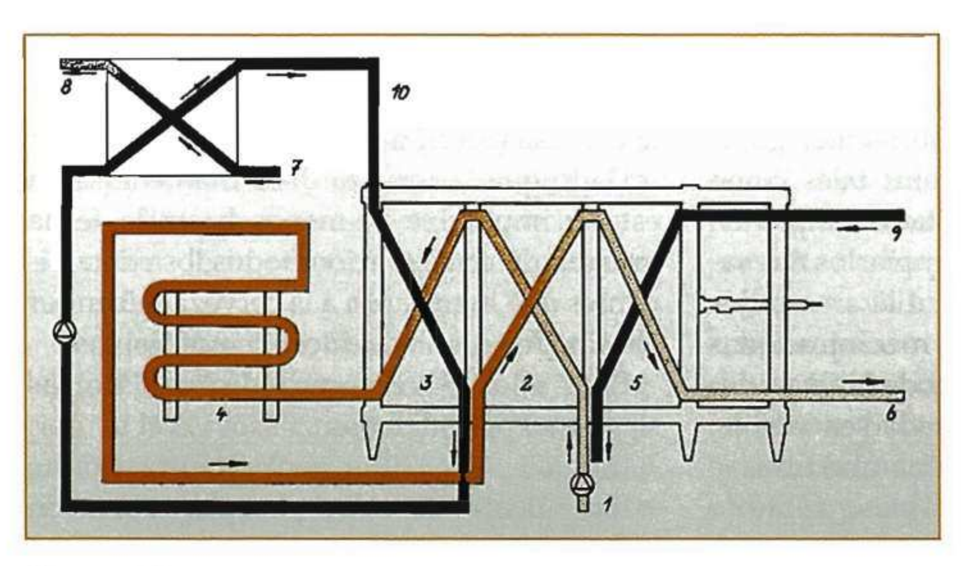


Figura 4.92
Equipo para la pasteurización flash
(1) entrada de cerveza fría, (2) precalentamiento de la cerveza entrante /enfriamiento de la cerveza calentada, (3) zona de calentamiento a temperatura de pasteurización , (4) zona de mantenimiento en caliente, (5) zona de enfriamiento a temperatura de envasado, (6) salida de la cerveza pasteurizada, (7) entrada de vapor, (8) descarga de condensado, (9) entrada de salmuera, (10) circuito de agua caliente

del CO_2 y que la presión en el lado caliente sea mayor que en el lado de la cerveza entrante (Figura 4.93). Para ello se requieren bombas de alta presión para presiones de hasta 12 bar.

4. 1.2.2 Temperatura y duración del tratamiento térmico

Se requiere mucho menos tiempo de acción para la exterminación de los microorganismos si la temperatura es elevada sólo levemente.

Esto conduce a una unidad de medida para la pasteurización,

la unidad de pasteurización (UP).

Por unidad de pasteurización se entiende un tiempo de mantenimiento en caliente de 1 min a 60°C y se calcula
UP = tiempo · $1{,}393^{(\text{temperatura en el calentador -60°C})}$.

El término entre paréntesis debe ser interpretado como potencia.

Por lo tanto, si la temperatura en el calentador es 60°C, la potencia será (60-60) = 0 y con ello el resultado será 1, dado que todo número con exponente 0 es siempre 1.

Si aumentamos la temperatura a 61°C, el resultado será:

UP = tiempo · $1{,}393^{(61\text{-}60°C)}$
= tiempo · $1{,}393^{1}$ = tiempo · 1,393

Si aumentamos la temperatura del calentador a 62°C, el resultado será:

UP = tiempo · $1{,}393^{(62\text{-}60°C)}$
= tiempo · $1{,}393^{2}$ = tiempo · 1,940

o continuando

para 64°C: tiempo · $1{,}393^{4}$ = tiempo · 3,76
para 66°C: tiempo · $1{,}393^{6}$ = tiempo · 7,30
para 68°C: tiempo · $1{,}393^{8}$ = tiempo · 14,18
para 70°C: tiempo · $1{,}393^{10}$ = tiempo · 27,51
para 72°C: tiempo · $1{,}393^{12}$ = tiempo · 53,4

Para la pasteurización de cerveza se requieren 14 a 15 UP. Cuantas menos UP se apliquen, tanto más se cuida la cerveza en lo que respecta a sus propiedades de valoración, pero tanto más cerca se llega al límite, en el cual aún pueden sobrevivir microorganismos.

Las UP necesarias dependen sobre todo del grado de contaminación. Cuantos más gérmenes tiene la cerveza, tanto mayor es la cantidad de UP requerida (generalmente 22 a 27 UP).

La figura 4.93 muestra las unidades de pasteurización necesarias para la exterminación de diferentes especies de microorganismos.

Si elegimos por ejemplo 15 UP como necesarias para nosotros, entonces el mantenimiento en caliente deberá ser a:

64°C = 15 UP: 3,76 = 3,98 min
66°C = 15 UP: 7,30 = 2,06 min
68°C = 15 UP:14,20 = 1,07 min= 64 s
70°C = 15 UP:27,50 = 0,545 min= 33 s
72°C = 15 UP:53,40 = 0,28 min= 17 s.

El efecto exponencial aumenta muy notablemente a mayor temperatura.

Una mayor temperatura significa un menor tiempo de mantenimiento en caliente, pero la temperatura debe ser mantenida exactamente.

El desarrollo de la temperatura debe ser monitoreado muy cuidadosamente y regulado de forma precisa para evitar deterioros cualitativos.

Pero la pasteurización únicamente garantiza la pureza biológica de la cerveza. Sin embargo, de acuerdo con nuestros conocimientos actuales, el 50% de los organismos extraños entra a la cerveza en el tramo de envasado como infección secundaria, de manera que la pasteurización flash por sí sola no es garantía alguna de que la cerveza esté estabilizada biológicamente por tiempo ilimitado (ver al respecto Sección 5.2.2.5).

La pasteurización flash tiene por ello grandes exigencias en lo referente a la limpieza de las botellas y la técnica de envasado. Aun

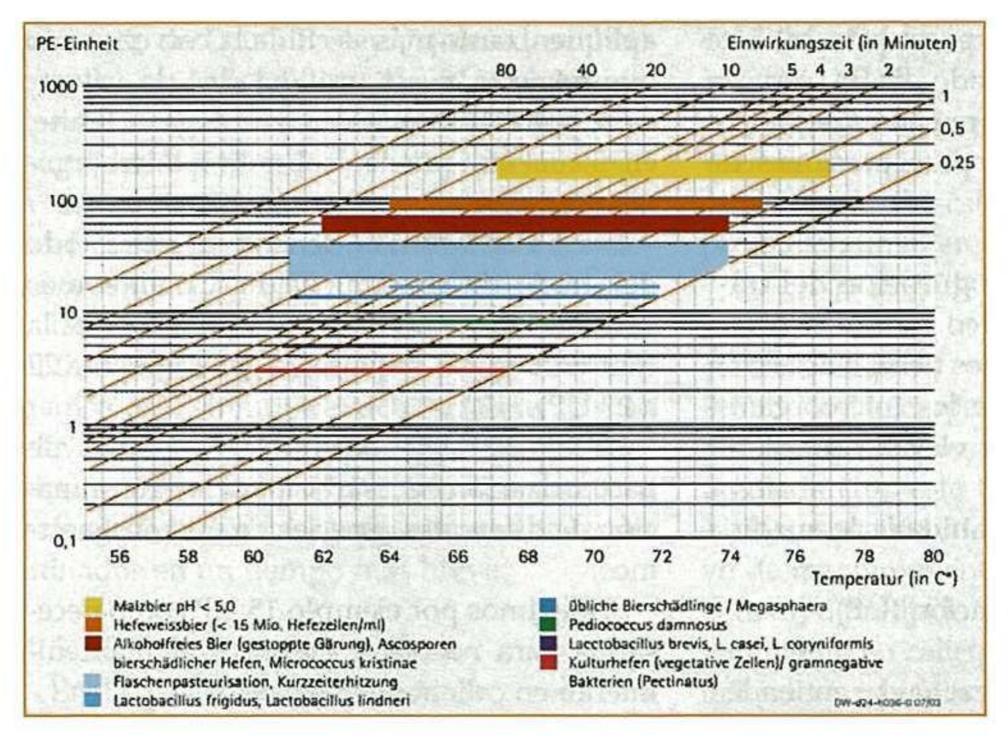


Figura 4.93: Unidades de pasteurización necesarias para la exterminación de diferentes microorganismos

así, la pasteurización flash es hoy en día la forma más usual de estabilización de cerveza embotellada y de keg.

4.6.1.2.3 Influencia de la pasteurización flash sobre la calidad de la cerveza

Existe la opinión difundida de que mayores temperaturas durante la pasteurización flash son sinónimo de un mayor deterioro del sabor de la cerveza. Esto no es correcto. Estudios muy extensos [187] han demostrado que el tiempo de mantenimiento en caliente cumple un papel incomparablemente más importante.

La predicción de la influencia del esfuerzo térmico sobre la calidad de la cerveza no puede apoyarse únicamente sobre un parámetro, como por ejemplo la UP, sino que se deben tener en cuenta numerosos factores. Junto con la composición de la cerveza, están incluidos entre los más importantes:

- el tiempo de mantenimiento en caliente,
- la temperatura reinante en esto y
- sobre todo, el contenido de oxígeno de la cerveza.

La UP es una medida para el efecto biológico de la pasteurización flash, pero no para el posible deterioro de producto de la cerveza.

4.6.1.3 Envasado en caliente de la cerveza

Una posibilidad de prevenir ampliamente una contaminación ulterior de la cerveza consiste en envasar esta última en caliente. Pero para ello se debe trabajar con presiones muy elevadas de 8 a 10 bar (m) para que no se fugue el CO_2. La ventaja en esto es que las botellas no necesitan ser enfriadas primero después de la limpieza. Pero son muy grandes las desventajas del proceso:

- debido a la acción prolongada del calor, se produce una merma de calidad en la cerveza,
- debido a la elevada presión, se producen muchas roturas de botellas y es muy alto el desgaste de la máquina de envasado, y
- el proceso demanda mucha energía.

El proceso ya no se utiliza para el llenado de cerveza.

4.6.1.4 Pasteurización en el pasteurizador tipo túnel

se desea estar bien seguro, se debe pasteurizar la cerveza embotellada o enlatada con el pasteurizador tipo túnel. Dado que las botellas o latas necesitan una hora para el pasaje, el pasteurizador tiene el mayor requerimiento de espacio en la sección de envasado. Es por ello también el equipo con los mayores costos de inversión y con la mayor demanda de energía, la cual se encuentra entre 14 a 24 MJ/hl, respectivamente 70 a 120 MJ/1000 botellas.

El calentamiento homogéneo de la cerveza en la botella no es nada fácil, como lo sabe cualquiera que haya querido alguna vez calentar rápidamente el contenido de cerveza de una botella: el intercambio de calor ocurre a través de la pared de vidrio, que es mal transmisor de calor. Se calientan primeramente las partes exteriores del contenido de la botella, en tanto que el interior se mantiene frío todavía. El calentamiento necesario de toda la botella no ha sido aún alcanzado, mientras no se haya llegado a la parte del contenido que más tiempo se mantiene fría: el núcleo frío.

El núcleo frío se encuentra a aproximadamente 1,5 cm por encima del fondo de la botella. Es por ello que en ese lugar debe ocurrir una verificación de la temperatura de pasteurización (ver Figura 5.55).

Durante la pasteurización se genera en la botella una presión bastante elevada. Ello se debe a que la cerveza se dilata levemente durante el calentamiento. En esto sube al espacio ocupado por el CO_2 y lo disminuye; de este modo, el colchón de gas es comprimido y la presión en la botella aumenta. Pero sólo se comprimen los gases, no los líquidos. De acuerdo con esto, el colchón de aire cumple una función protectora muy importante.

El espacio vacío en la botella durante la pasteurización no debe ser menor que el 4% del volumen de la botella, porque, si no, la sobrepresión en la botella puede causar la rotura de ésta.

Debido al aumento de temperatura se incrementa también la presión de saturación del CO_2 al reestablecer el CO_2 de la cerveza el equilibrio en el espacio superior de la botella.

En el pasteurizador tipo túnel, las botellas o latas son calentadas con sus contenidos hasta la temperatura de pasteurización y posteriormente son enfriadas nuevamente. La construcción y el modo de operación del pasteurizador tipo túnel se describen en la Sección 5.2.6. Los pasteurizadores tipo túnel se usan hoy en día casi solamente para la pasteurización de cerveza enlatada, cerveza de malta, bebidas a base de malta y cervezas sin alcohol.

4.6.1.5 Envasado aséptico en frío de la cerveza

La pasteurización en túnel y la pasteurización flash son procesos probados para la estabilización biológica de la cerveza. A pesar del tratamiento cuidadoso de la cerveza –también en la pasteurización flash–, el tratamiento térmico de la cerveza conlleva siempre el riesgo de modificaciones en los contenidos de la misma.

Es por eso que hoy en día se hacen esfuerzos cada vez mayores por liberar la cerveza de todos los microorganismos a través de los procesos fríos. Para esta filtración se dispone de capas esterilizantes, filtros de membrana y filtros de módulos. Hemos visto en esto que, por selección de membranas apropiadas, se puede filtrar muy fino. Pero el pasaje es entonces muy reducido y se necesitan muchos módulos para alcanzar un caudal aceptable. Con esto, el proceso se encarece mucho. Es por ello que todos los esfuerzos están dirigidos a trabajar de forma más económica.

Si se quiere obtener una filtración aséptica en frío, todo el proceso productivo debe

ajustarse a ello [109]. Esto significa:

- una buena filtrabilidad de la cerveza,
- un control riguroso de todas las posibles vías de contaminación, en especial también las de las conexiones de agua, CO_2, aire, etc.,
- los dispositivos de llenado y cierre deben responder a la técnica de limpieza CIP más moderna. La utilización de vapor para la esterilización de los contenedores antes del llenado puede mejorar las condiciones. Aproximadamente, el 50% de las contaminaciones comprobadas es causado por infecciones posteriores a la filtración [108] (ver Sección 5.2.2.5).

Es posible una seguridad biológica sin tratamiento térmico si

- los filtros están bien adaptados entre sí,
- existe un buen estado biológico en el área de líquido sin filtrar y de líquido filtrado,
- la cerveza tiene una elevada estabilidad interna y
- se realiza un control biológico eficiente.

Hay muchas posibilidades en la filtración aséptica en frío. Luego de la filtración por kieselgur se utilizan por lo general tres o cuatro filtros de membrana con micronaje decreciente y, debido a esto, con caudal decreciente. Para caudales mayores se necesita naturalmente una cantidad correspondientemente mayor de filtros conectados en paralelo.

La secuencia de los filtros luego del filtro de kieselgur es generalmente:

- filtro fino con tamaño de poros de aproximadamente 5µm,
- filtro de pulido con tamaño de poros de aproximadamente 1µm y finalmente
- filtro esterilizante con tamaño de poros de aproximadamente 0,45µm.

En las Figuras 4.94a y 4.94b se representan ejemplos de filtración esterilizante de cerveza en frío, tal como se la encuentra también en las fábricas de cerveza.

Con el envasado aséptico en frío se obtiene casi el mismo efecto que con la pasteurización flash. Pero es importante que también la instalación de envasado cumpla con todos los requisitos del envasado estéril en frío.

La tendencia actual está dirigida hacia el envasado aséptico en frío (ver al respecto Sección 5.2.2.5), dado que éste excluye todos los efectos deteriorantes de sabor asociados al tratamiento térmico.

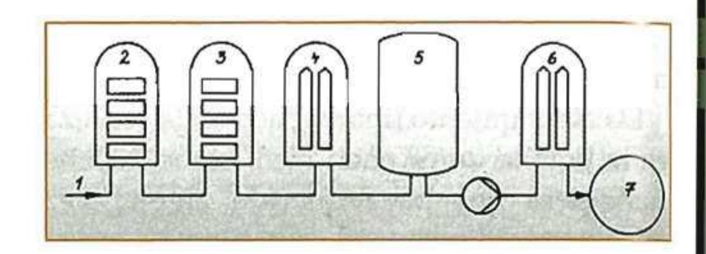


Figura 4.94a:
Filtración aséptica de cerveza en frío
(Ejemplo 1)
(1) cerveza proveniente del filtro de kieselgur, (2) filtro de módulos como filtro fino I (tamaño de poros 10µm), (3) filtro de módulos como filtro fino II (tamaño de poros 5µm), (4) filtro de cartuchos como filtro de pulido (tamaño de poros 1µm), (5) tanque buffer, (6) filtro de cartuchos como filtro esterilizante (tamaño de poros 0,45µm), (7) dispositivo llenador

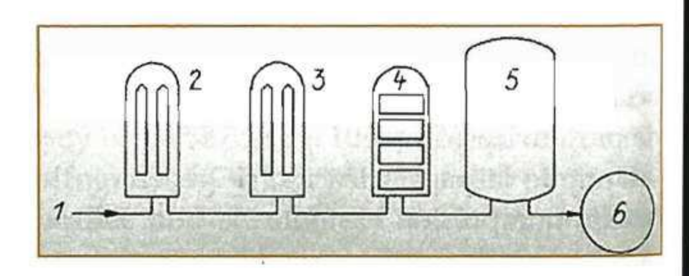


Figura 4.94b
Filtración aséptica de cerveza en frío
(Ejemplo 2)
(1) cerveza proveniente del filtro de kieselgur, (2) filtro de cartuchos como filtro fino (tamaño de poros 5µm), (3) filtro de cartuchos como filtro de pulido (tamaño de poros 1µm), (4) filtro de módulos como filtro esterilizante (tamaño de poros 0,5µm), (5) tanque buffer, (6) dispositivo llenador

En esto es desventajosa una estabilidad pobre de espuma, que es frecuentemente observada. Ésta está relacionada con una fisiología desfavorable de levadura, porque aún está presente la proteinasa A de la levadura (ver al respecto 4.4.4.1).

4.6.2 Estabilización coloidal de la cerveza

Aun pasteurizando la cerveza, ésta se enturbia con el tiempo. Estas turbideces son causadas preferentemente por substancias disueltas de forma coloidal en la cerveza. Para prevenir su formación debemos interiorizarnos al respecto a fin de sacar conclusiones para su prevención.

4.6.2.1 Naturaleza de las turbideces coloidales

Ensayo:

> Se coloca una botella con cerveza en agua helada. Luego de algún tiempo se observa que la cerveza se enturbia levemente. Se calienta la botella a 60°C; se observa que desaparece la turbidez. Este ensayo se repite algunas veces, y se observa finalmente que la turbidez ya no vuelve a desaparecer al calentar, sino que queda.

Este "test de resistencia", al que normalmente no se somete la cerveza, sirve para la definición de dos tipos de turbideces coloidales: la turbidez debida al frío y la turbidez permanente.

Por turbidez debida al frío se entiende la turbidez coloidal que se presenta en la cerveza durante el enfriamiento y que se disuelve nuevamente al calentar a 20°C. Con el tiempo se produce el pasaje de la turbidez en frío a una turbidez permanente, que ya no desaparece.

Turbidez en frío

Dado que la turbidez en frío debe ser interpretada como una preetapa de la turbidez permanente, aquella es particularmente interesante e importante para el cervecero. La turbidez en frío de la cerveza consiste en un enlace débil de productos de degradación proteica de alto peso molecular (ver Sección 1.1.3.2.3) con polifenoles altamente condensados (sobre todo antocianógenos). Sobre éstos se han depositado pequeñas cantidades de hidratos de carbono y minerales, sobre todo sales de metales pesados. Este enlace débil es abierto nuevamente durante el calentamiento [59].

Hay que imaginarse esta formación de turbidez de manera tal que las partículas contenidas en la cerveza, que están disueltas coloidalmente, chocan entre sí debido al movimiento coloidal browniano y forman progresivamente puentes de hidrógeno entre ellas. Con el correr del tiempo se depositan entre sí cada vez más moléculas que son cada vez más grandes, hasta que finalmente son visibles como turbidez.

Se puede efectuar la comparación con las pelusas de polvo insignificantes que se encuentran debajo de la cama, las que son movidas hacia uno y otro lado por el aire, hasta que finalmente no sólo son visibles, sino que no pueden ser pasadas por alto.

La formación de turbidez es estimulada por los siguientes factores:

- temperatura más elevada,
- oxidación de la cerveza,
- iones de metales pesados,
- movimiento de la cerveza y
- luz.

La temperatura de almacenamiento tiene sin duda la mayor influencia en lo que respecta a la formación de turbidez, dado que el desarrollo de las reacciones es acelerado con el aumento de temperatura. De esto queda también claro que la formación de turbidez coloidal es acelerada por la pasteurización. También la oxidación tiene una fuerte influencia sobre la formación de tur-

bidez en la cerveza. Una fuerte oxidación puede aumentar al quíntuple la velocidad de aparición de la turbidez.

Los iones de metales pesados estimulan muy fuertemente la formación de turbideces coloidales. El movimiento de la cerveza acelera la formación de turbidez, debido a un encuentro más rápido de los coloides; la luz estimula la oxidación y con ello la formación de turbidez.

De todos estos factores, el oxígeno tiene una influencia particularmente negativa sobre la estabilidad coloidal. Por ello estamos también interesados en mantener al oxígeno siempre alejado de la cerveza.

Turbidez permanente

Bajo influencia de los factores mencionados anteriormente, la turbidez en frío se convierte con el tiempo en una turbidez permanente. Con ello resulta también casi la misma composición de ambos tipos de turbidez. El tiempo hasta la formación de turbidez permanente puede fluctuar fuertemente. Por lo general aparece algunas semanas después del envasado. Consecuentemente, la turbidez permanente pasa a ser interesante para cervezas con prolongada estabilidad. Por este motivo son importantes las medidas para retardar o prevenir la formación de turbideces coloidales.

4.6.2.2 Mejoramiento de la estabilidad coloidal de la cerveza

Principio de la formación coloidal de turbidez:

Turbidez en frío		Turbidez permanente
productos complejos de degradación proteica	calor → oxígeno →	
(enlace débil)	metal pesado →	productos complejos de degradación proteica polifenoles complejos
polifenoles complejos	movimiento luz →	

Resulta de esto que una turbidez puede no aparecer o aparecer de forma retardada si se extrae uno de los componentes parcial o totalmente o si se excluyen ampliamente los factores de conversión.

Para esto existen varias posibilidades:

1. Prevenir la formación de muchos productos complejos de degradación proteica durante la producción.
2. Extracción de una parte de los productos complejos de degradación proteica.
3. Degradación enzimática de los productos complejos de degradación proteica.
4. Extracción parcial de los polifenoles durante la producción.
5. Extracción de los polifenoles de la cerveza.
6. Degradación enzimática de los polifenoles.
7. Almacenamiento en frío.
8. Extracción del oxígeno y mantenimiento del mismo alejado de la cerveza.
9. Mantenimiento de metales pesados y sus sales alejados de la cerveza.
10. En lo posible, evitar movimientos de la cerveza.
11. Almacenamiento protegido de la luz.

4.6.2.3 Medidas tecnológicas para el mejoramiento de la estabilidad coloidal

Una parte de las posibilidades se deja realizar ampliamente a través de medidas tecnológicas. Aparte de ello es necesaria la utilización de agentes estabilizadores para obtener una buena estabilidad.

Las medidas tecnológicas incluyen:

- procesamiento de cebadas más pobres en proteínas, con cáscara fina; contenido de proteínas por debajo de 11%,
- procesamiento de cebadas libres de antocianógenos, reducido contenido de oxalato,
- proceso de germinación prolongado y frío, buena modificación en el grano,

- ıstado intensivo,
- ıcalinidad residual en el agua de coci-ıiento menor que 5°d,
- ıena separación de las cáscaras durante molienda; mezclado separado (proceso ubessa),
- n reposo proteico prolongado,
- atar de alcanzar una elevada atenuación mite,
- restar atención a una sacarificación sin residuos y una reacción normal al yodo,
- sin una fuerte lixiviación de las heces (taninos),
- cocer prolongada e intensivamente; cuidar de que haya una buena precipitación de proteínas (no más de 2 mg de nitrógeno coagulable/100 ml de mosto),
- controlar la formación de flóculos,
- acidificación del mosto caliente (pH 5,1 a 5,2),
- adición no demasiado temprana de lúpulo – los taninos de la malta deben reaccionar,
- mantener alejado el oxígeno,
- separación completa el trub de cocción, extracción óptima del trub en frío,
- aireación intensiva del mosto para un rápido inicio de la fermentación,
- fermentación fría y vigorosa,
- fase de reposo en frío de mínimamente 7 días a -2 a 0°C antes de la filtración para la separación de partículas de turbidez en frío,
- evitar el contacto con partes metálicas desprotegidas (salvo en el caso de acero inoxidable),
- evitar cualquier contacto con el aire; ello incluye:
  - evitar el ingreso de aire,
  - evitar la formación de mangas por medio de reducción de la velocidad,
  - utilizar agua desgasificada para las mezclas inicial y final,
  - purgado de aire del filtro y del aparato dosificador y barrido con CO_2,
  - evitar cualquier absorción de oxígeno en el tramo de envasado; prestar atención a las menores cantidades,
  - utilizar únicamente CO_2 completamente puro, ¡cuidarse de introducir aire!

4.6.2.4 Adición de agentes estabilizadores

Si se observan los factores mencionados anteriormente, se puede retardar considerablemente la formación de turbideces coloidales, pero no se la puede evitar. Por ello, las cervezas de estabilidad prolongada son estabilizadas adicionalmente.

Como agentes estabilizadores se usan hoy en día, sobre todo,

- preparados de silicagel y/o
- polivinilpolipirrolidona (PVPP).

Ambos agentes pueden ser usados de forma combinada.

Además se pueden adicionar antioxidantes en el caso de no tener que respetar la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

4.6.2.4.1 Preparados de silicagel

Los preparados de silicagel son importantes agentes estabilizadores que ligan substancias albuminoideas formadoras de turbideces, pero que casi no tienen efecto sobre las substancias promotoras de espuma. Se los utiliza en cantidades de 50 a 150 g/hl y son adicionados en el aparato dosificador antes de la filtración o durante el trasiego.

Se diferencia entre:

- hidrogeles con un contenido de humedad mayor que 50% y
- xerogeles (geles secos) con 5% de contenido de agua.

Los silicageles son producidos a partir de ácido sulfúrico y silicato sódico. En la conglomeración se forman preparados de poros amplios y estrechos. Los geles de poros muy estrechos no pueden aprovechar totalmente su superficie y los de poros amplios tienen una fuerza de adsorción muy reducida. Hoy en día se prefieren preparados de silicagel

con un radio de poro entre 3,0 y 3,5 µm, en los cuales está dada una adsorción óptima de las proteínas formadoras de turbidez en la cerveza.

Un criterio importante para la aplicabilidad del preparado de silicagel es la distribución de tamaños de grano. Cuanto más fina es la distribución de tamaños de grano, tanto más rápido puede obstruírse el filtro. Por otro lado, las partículas grandes (por encima de 40 µm) apenas son efectivas. La mejor efectividad se obtiene con partículas con un valor medio de 8 a 20 µm.

4.6.2.4.2 Polivinilpolipirrolidona (PVPP)

La polivinilpirrolidona (PVP) es un compuesto simil proteico que puede ligar polifenoles a sí mismo. Pero la PVP es soluble en agua y por ello no está permitida como agente estabilizador. Recién con la reticulación tridimensional como polivinilpolipirrolidona (PVPP) (Figura 4.95) se ha transformado en insoluble y puede ser utilizada para ligar polifenoles. La PVPP es un polvo que es insoluble en todos los solventes conocidos y que únicamente se hincha en agua.

La PVPP se caracteriza por seleccionar (extraer) todos los compuestos que contienen taninos (compuestos fenólicos). Esta extracción está basada en una formación de puentes de hidrógeno, dependiente del valor pH, que en solución alcalina disocian nuevamente los compuestos fenólicos adsorbidos. Sobre esto se basa la regenerabilidad de la PVPP, la cual puede ser empleada repetidamente. En Alemania se pueden utilizar 50 g PVPP/hl de cerveza, como máximo.

Hoy en día se utiliza la PVPP generalmente en combinación con un preparado de silicagel, pero a veces también se la usa sola. Para la estabilización se puede:

- adicionar la PVPP en el aparato dosificador –pero entonces se emplea una sola vez– o
- estabilizar con capas filtrantes que contienen PVPP, o
- realizar la estabilización de la cerveza por PVPP en el proceso de reciclado.

Este último se impone hoy en día cada vez más y se describe a continuación.

Estabilización de la cerveza con PVPP en el proceso de reciclado

El equipo está compuesto esencialmente por un filtro centrífugo de precapa con discos filtrantes con recipiente de dosificación y bomba (Figura 4.96).

Para el desarrollo de la estabilización se desplaza primeramente con CO_2, desde arriba, el agua de esterilización aun contenida (1).

Las tortas de PVPP regeneradas, que aún se encuentran sobre los discos filtrantes, son echadas hacia afuera por rotación del paquete filtrante y la PVPP es transportada de vuelta al aparato dosificador (2).

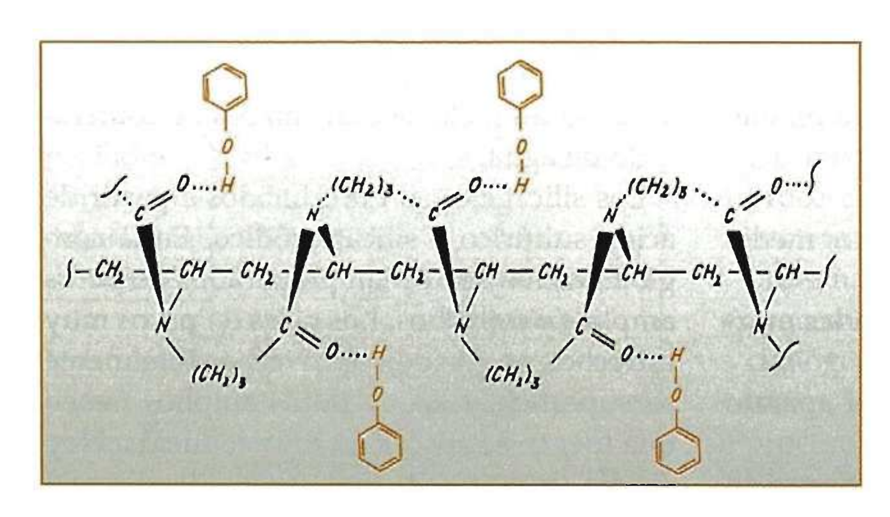
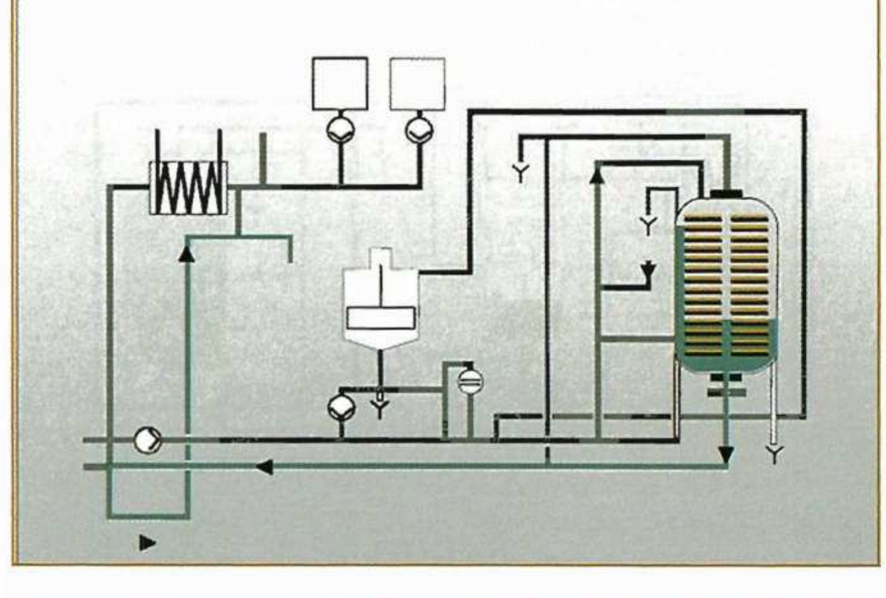
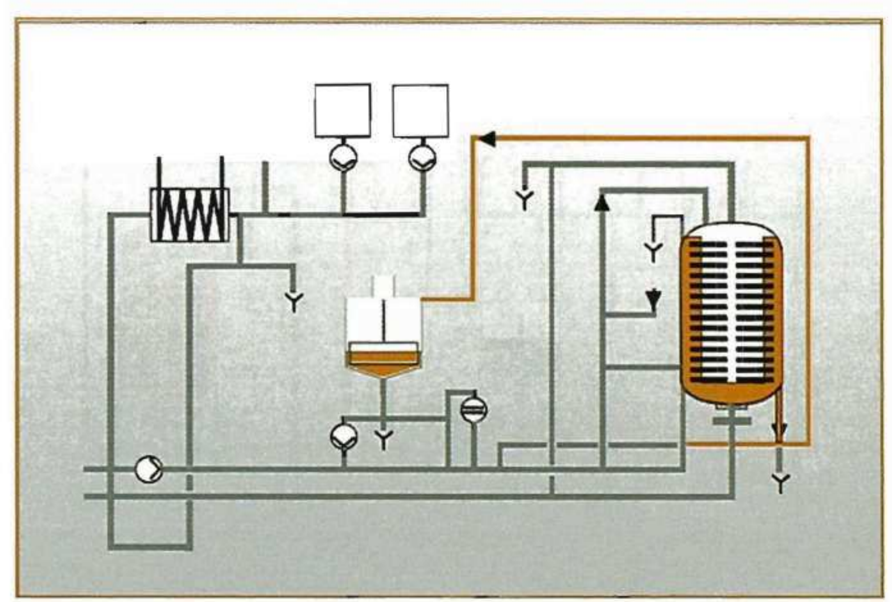


Figura 4.95
Estructura de la PVPP
rojo: substancias fenólicas adsorbidas

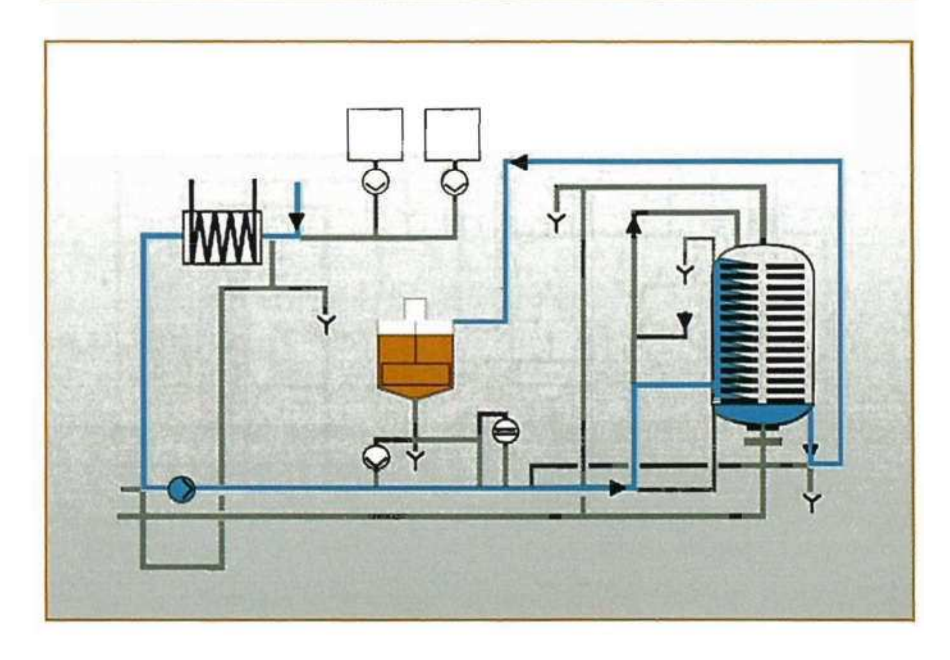
Fi ra 4.96
Es bilización de la cerveza con PV P en el proceso de reciclado



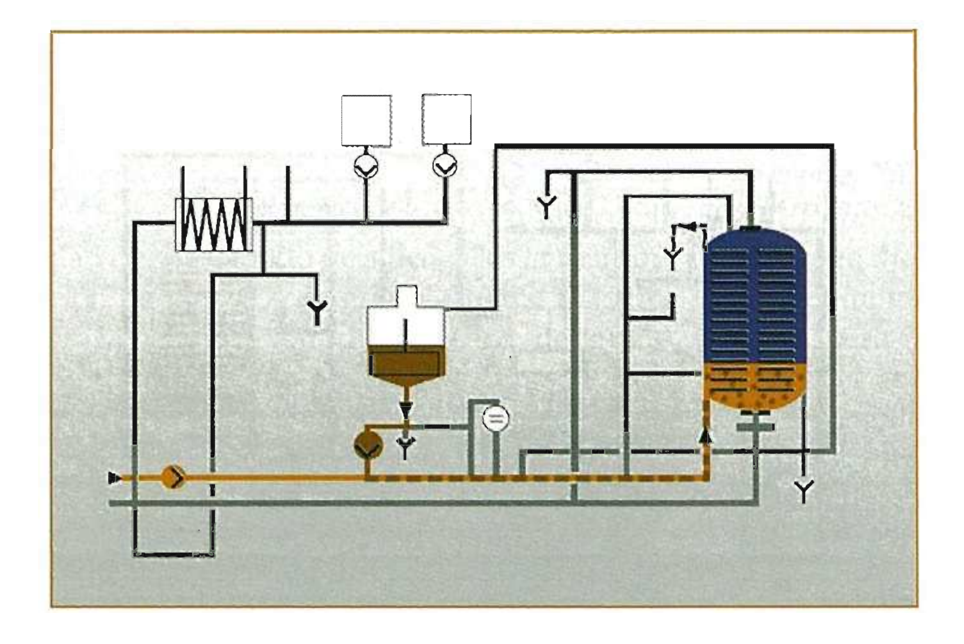
(1) l inicio de la estabilización, l filtro está lleno con agua lesgasificada;
el agua es desplazada desde arriba por el CO_2 y se impide de esa manera un ingreso de oxígeno.



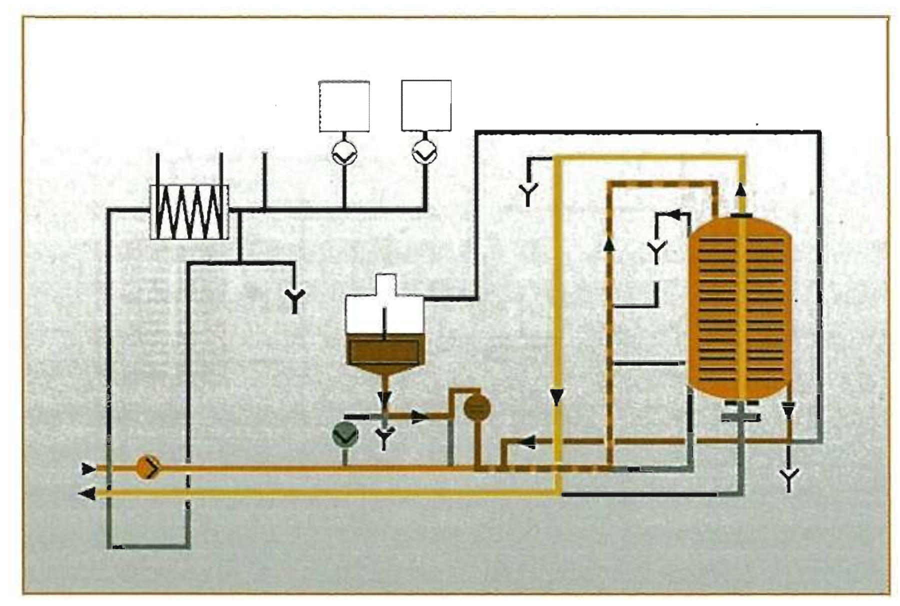
(2) Las tortas regeneradas de PVPP, que aún se encuentran sobre los discos, son proyectadas hacia afuera por rotación del paquete filtrante y la PVPP es transportada de vuelta al aparato dosificador.



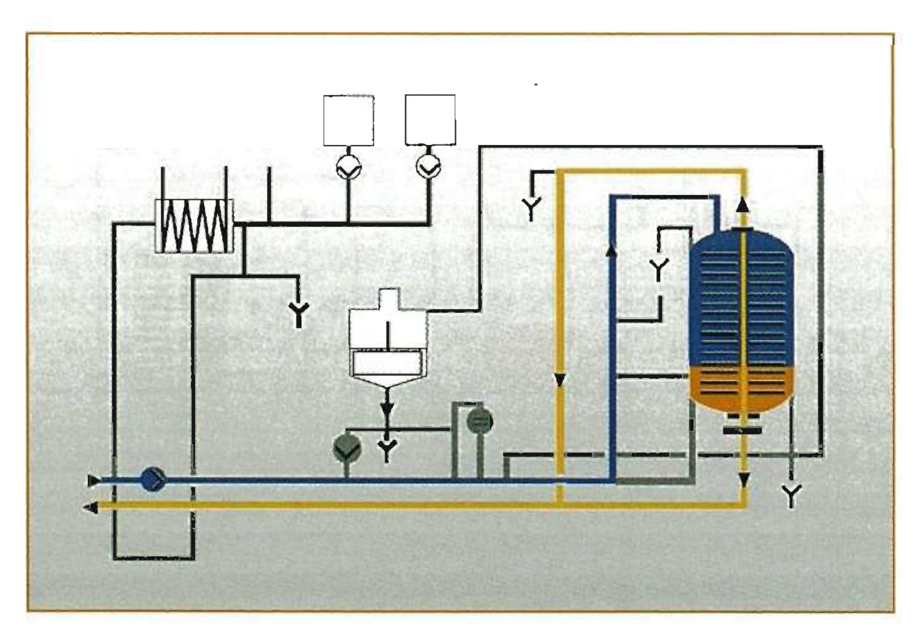
(3) Durante la rotación, el filtro es rociado y la restante PVPP es retornada por bombeo al aparato dosificador. Pero el filtro continúa permaneciendo bajo presión de CO_2.



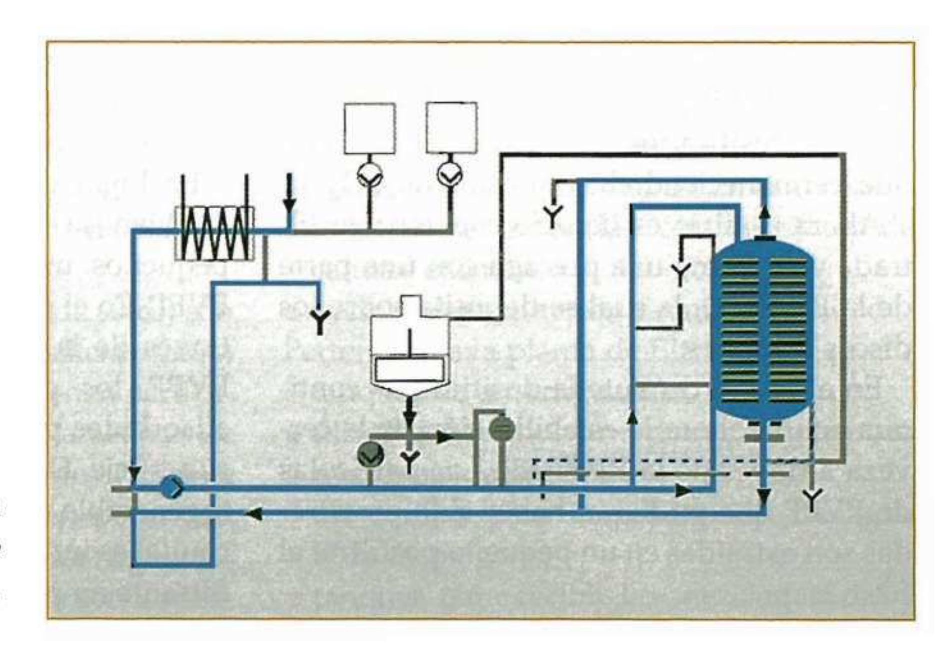
(4) *El filtro es ahora llenado con cerveza ya filtrada y se suministra la PVPP del aparato dosificador para la formación de la precapa. La PVPP se distribuye y se deposita sobre los discos filtrantes. Luego del llenado, la cerveza es recirculada (= formación de precapa).*



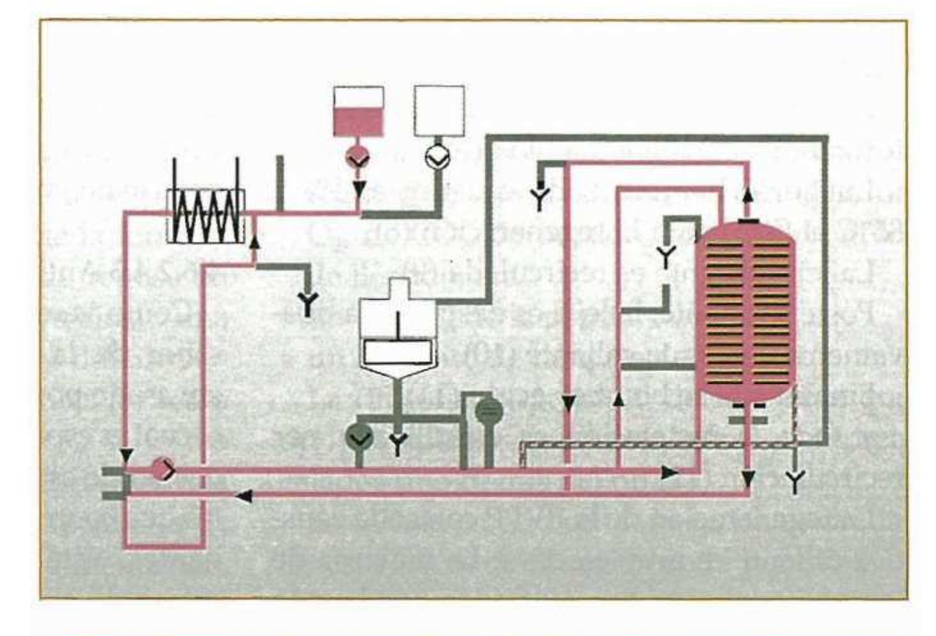
(5) *La cerveza es estabilizada a través de la PVPP. Sin embargo, en esto no ocurre filtración alguna. La partículas de PVPP arrastradas son extraídas en un pequeño posfiltro intercalado detrás.*



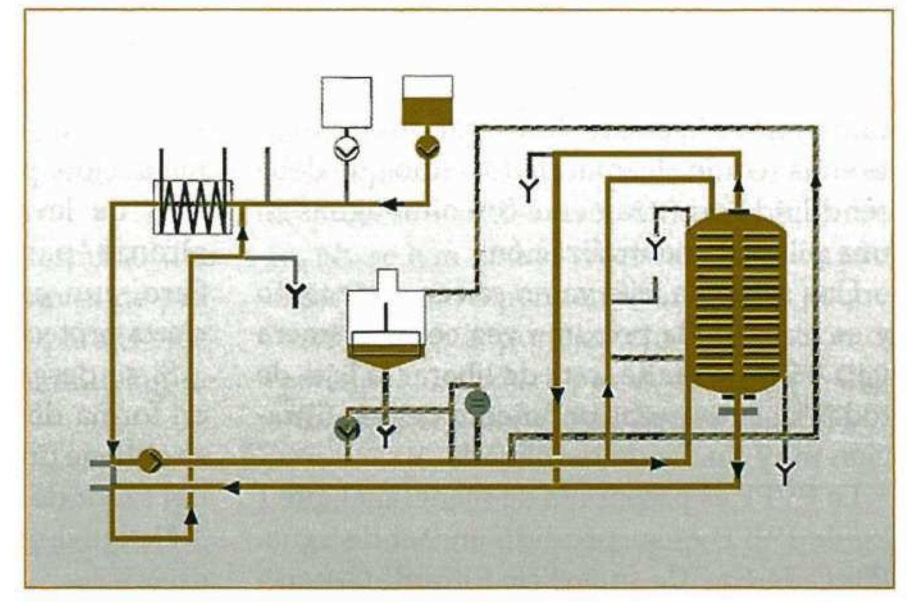
(6) *Cuando el proceso ha terminado, la cerveza restante es desplazada del filtro con agua desgasificada y con ello finaliza la filtración.*



(7) La regeneración comienza con el rociado de la torta de PVPP con agua tibia a 45°C.



(8) La regeneración de la PVPP se realiza por medio de soda cáustica al 1% tibia a caliente. En este proceso, la lejía es recirculada. Debido a la reacción con los polifenoles disueltos, se colorea de color negro.



(9) Para la neutralización se bombea agua acidificada con 0,1 a 0,2% de HNO_3 a una temperatura de 40 a 50°C y finalmente se esteriliza el filtro por recirculación.

Durante la rotación, el filtro es rociado y la restante PVPP es retornada por bombeo al aparato dosificador (3). Pero el filtro continúa permaneciendo bajo presión de CO_2.

Ahora el filtro es llenado con cerveza filtrada y se forma una precapa con una parte de la PVPP (4), la cual se deposita sobre los discos filtrantes.

En el pasaje durante la dosificación continua ocurre ahora la estabilización de la cerveza a través de la PVPP (5). Las partículas de PVPP que pudieran haber sido arrastradas son extraídas en un pequeño posfiltro: el filtro trap.

Al final de la estabilización, la cerveza restante es desplazada con agua desgasificada (6).

Para regenerar se rocía primeramente la torta de PVPP con agua tibia (7).

Luego se bombea soda cáustica al 1% a 85°C al filtro para la regeneración (8).

La lejía caliente es recirculada (9).

Posteriormente, la lejía es desplazada nuevamente con agua caliente (10).

Finalmente se bombea ácido (11)

y toda la instalación es esterilizada por recirculación (12).

La regeneración de la PVPP con soda cáustica caliente es muy efectiva. La mayoría de los polifenoles ya son extraídos por lavado con la primera lejía, la cual toma una coloración negra profunda y es desechada. Debido a la coloración, la concentración y la temperatura, no se la puede descargar directamente en la red de alcantarillados, sino que debe ser diluida primeramente con otras aguas en una pileta de neutralización.

Una segunda lejía ya no se consume tanto y es utilizada la próxima vez como primera lejía. Hoy en día se trata de liberar la lejía de todas las impurezas por medio de una filtración muy fina, y de reutilizarla.

La PVPP es preparada de manera tal que 1 kg de PVPP es suspendido en 9 l de agua. Por cada 1 m² de superficie filtrante se necesitan aproximadamente 200 g de PVPP. En cada ciclo se pierden aproximadamente 0,[illegible] a 1% de la substancia.

En lugar de la adición de PVPP al filtro también se pueden usar, en equipos más pequeños, módulos filtrantes que contienen PVPP. En el pasaje de afuera hacia adentro a través de la capa de celulosa que contiene PVPP, los polifenoles de la cerveza son adsorbidos por la PVPP y precipitados en la superficie. De este modo, el filtro es lavable, regenerable y esterilizable hasta 30 veces. El caudal es indicado con 20 hl/m² de superficie filtrante en promedio.

Pero esta filtración no realiza una extracción uniforme de los polifenoles a lo largo de todo el lote, porque la capacidad de adsorción de los módulos se agota. En esos casos es necesaria una mezcla y una compensación en el tanque de presión.

4.6.2.4.3 Antioxidantes

Como veremos en el capítulo siguiente, el sabor de la cerveza se modifica luego del envasado por el envejecimiento de carbonilos, el cual es especialmente estimulado por la oxidación de estos últimos. Por adición de agentes que contrarrestan una oxidación = antioxidantes, este proceso puede ser retardado extraordinariamente.

El dióxido de azufre impide la oxidación de los carbonilos y retarda de este modo muy notablemente el envejecimiento del sabor. La levadura forma SO_2 durante la fermentación, pero la formación depende de la raza de levadura [144] y su cantidad no alcanza para una estabilización amplia. Pero, aun así, el SO_2 formado brinda una cierta protección contra el envejecimiento.

Si se desea estar seguro, se adiciona SO_2 en forma de sulfitos durante el envasado y se obtiene un retardo amplio en la formación del sabor de envejecimiento.

De igual manera actúa la adición de ácido ascórbico.

gún la Ley de Pureza alemana "Reinheitsgebot", no está permitida la utilización de antioxidantes.

4.6.2.4.4 Adición de preparados de sol de ácido silícico

Los soles de ácido silícico (sol de sílice) son soluciones coloidales de ácido silícico (SiO_2) en agua. Los soles de sílice contienen partículas esféricas no reticuladas cuyo tamaño es de 5 a 150 nm de ácido silícico amorfo altamente puro. Estas partículas no poseen porosidad interna y tienen una carga eléctrica negativa.

Los preparados de sol de sílice son utilizados en la fabricación de cerveza para la mejora de la clarificación y la filtrabilidad de la cerveza y en menor grado también para aumentar la estabilidad coloidal. La adición de preparados de sol de sílice en el rango de 50 ml de sol/hl de cerveza (30 a 60 ml/hl) ocurre generalmente después de la fermentación final y antes de la fase de reposo en frío. Pero también es posible realizar una adición al mosto caliente o antes del filtro.

Por reticulación de las partículas de ácido silícico con compuestos proteicos se forma un hidrogel, que conduce a la turbidez, a la floculación y finalmente, por velocidades de descenso de 5 a 7 m/día, a la sedimentación. Debido al uso de soles de sílice se puede alcanzar una mejora de la clarificación y la filtrabilidad de la cerveza. El hidrogel se extrae por completo nuevamente de la cerveza de manera que su utilización se corresponde también con la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

Sin embargo, es necesario determinar una dosis óptima de utilización a través de preensayos. Esto es necesario tanto para el efecto a alcanzar como para la disminución de costos.

4.6.3 Planta de filtración

La planta de filtración cubre la totalidad de los equipos desde el tanque de reposo hasta el envasado. Las elevadas exigencias que se imponen hoy en día a la calidad estable de la cerveza envasada requieren un tratamiento de la cerveza en varias etapas. En esto deben:

- mantenerse todas las características de calidad existentes y
- excluirse una ulterior merma de calidad.

Pertenecen a la planta de filtración:

- tanques de amortiguación,
- filtros conectados uno detrás de otro con micronaje decreciente,
- un equipo para la producción de agua libre de oxígeno,
- tanques para recibir las mezclas inicial y final,
- un depósito de medio auxiliar de filtración/un lugar de preparación de medio auxiliar de filtración,
- una tecnología de medición, control y regulación con medición de turbidez, de O_2, de CO_2, de presión, sensores de nivel de llenado, etc.
- un control de la planta y
- un depósito de tanques de presión.

La filosofía empresarial decide sobre qué tipos de filtros se utilizan y cómo son intercalados uno detrás del otro.

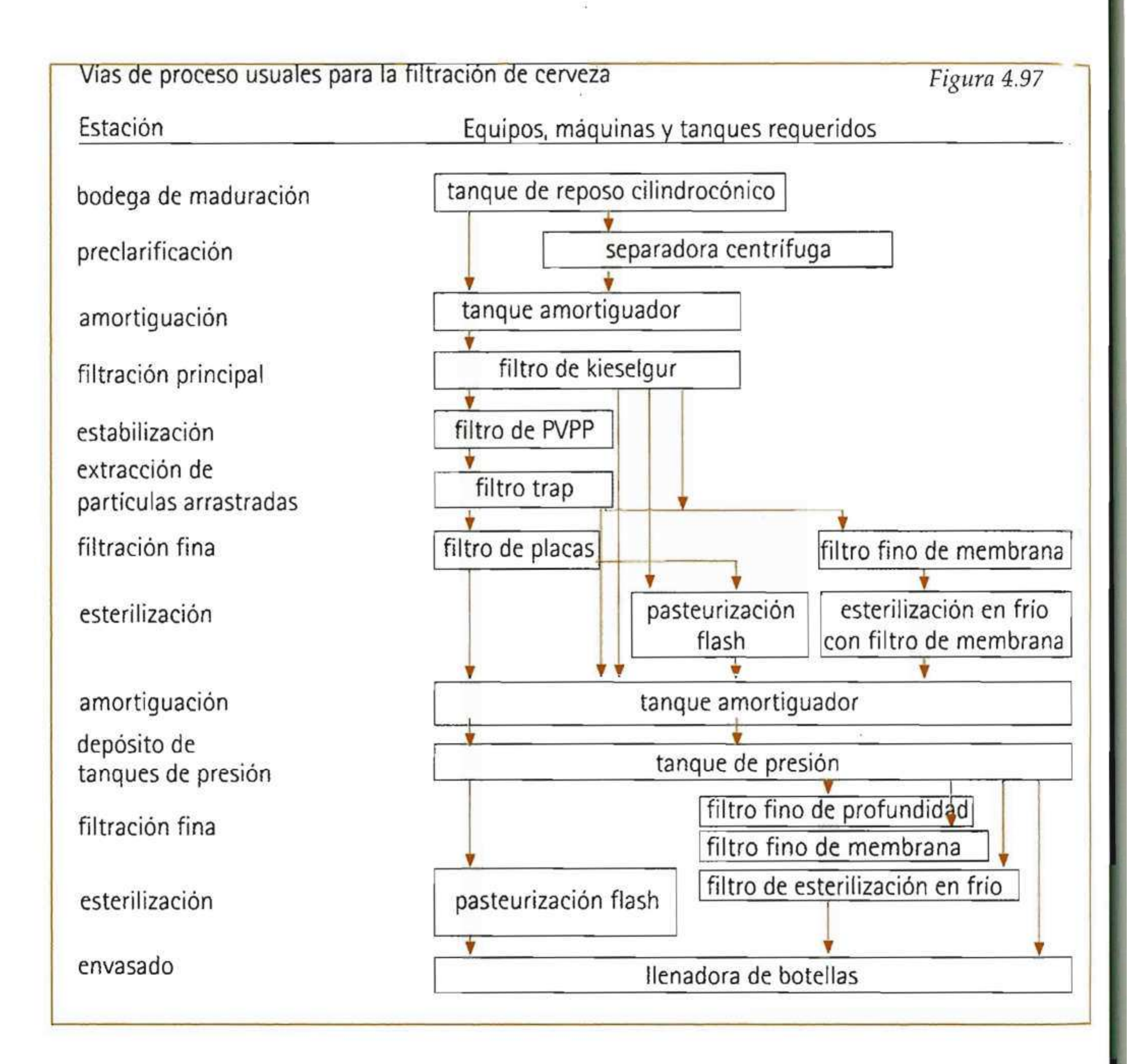
Se calcula en esto con los siguientes caudales específicos de filtración en hl por $m^2 \cdot h$:

filtro de precapa con velas filtrantes	4,8 - 6
filtro de precapa con placas y marcos	3,8 - 4
filtro de placas	1,8 - 1,5
filtro esterilizante	0,8 - 1,0
filtro de PVPP	8,8 -12.

La figura 4.97 da un panorama de las vías de proceso usuales en la filtración de cerveza. No se han tenido en cuenta aquí los procesos que corresponden a cantidades pequeñas de cerveza; por ejemplo, la filtración de cerveza de levadura por el proceso de flujo cruzado (cross flow) (ver Sección 4.4.6.3).

Tanques de amortiguación

A los efectos de evitar golpes de ariete y posibilitar un desarrollo uniforme de la fil-



tración, se intercalan sendos tanques de amortiguación al principio y al final de cada tramo de filtración. Debido a la mejor posibilidad de limpieza, los tanques de amortiguación son colocados generalmente de forma vertical y provistos únicamente con cabezales rociadores.

Intercalación de una separadora centrífuga para la preclarificación

Los elevados costos del kieselgur (aproximadamente 450 a 500 EURO/t) y su eliminación para desecho obligan cada vez más al ahorro. Una posibilidad, que es aprovechada cada vez más por grandes fábricas de cerveza, consiste en la intercalación de una separadora centrífuga (Figura 4.97a). Por medio de la separadora centrífuga se puede extraer una parte substancial de las células de levadura y mantener la carga de levadura en un valor constante.

De esta manera pueden ser interceptadas también oleadas de levadura, que se forman durante la extracción y el vaciado de los tanques.

El consumo de kieselgur es disminuido en un 20 a 50% por intercalación de una separadora centrífuga, y se duplica el intervalo

de filtración entre regeneraciones en el filtro de kieselgur.

Aun a pesar de los elevados costos para la adquisición y la operación de la separadora centrífuga, esta inversión se amortiza en corto tiempo en muchas fábricas de cerveza. La separación de la cerveza no tiene ninguna influencia negativa sobre la calidad de la cerveza si se evitan las pérdidas de CO_2 y la absorción de O_2.

Posibilidades de la filtración y la estabilización de la cerveza

Existen muchas posibilidades para filtrar la cerveza y para estabilizarla tanto biológica como coloidalmente.

Básicamente tiene siempre lugar una disposición de filtros en el orden "de grueso a fino". Pero con la disminución del micronaje disminuye siempre el caudal de manera que, con la disminución del micronaje, las superficies filtrantes deben ser cada vez más grandes.

En la filtración principal domina el filtro de kieselgur. Pero la clarificación ulterior es muy diferenciada si es que la misma es necesaria.

Pero, junto con las cervezas "normales" tratadas térmicamente con pasteurización flash, las cervezas tipo "draft" no tratadas térmicamente y filtradas en frío ocupan en una serie de países un lugar creciente. Para

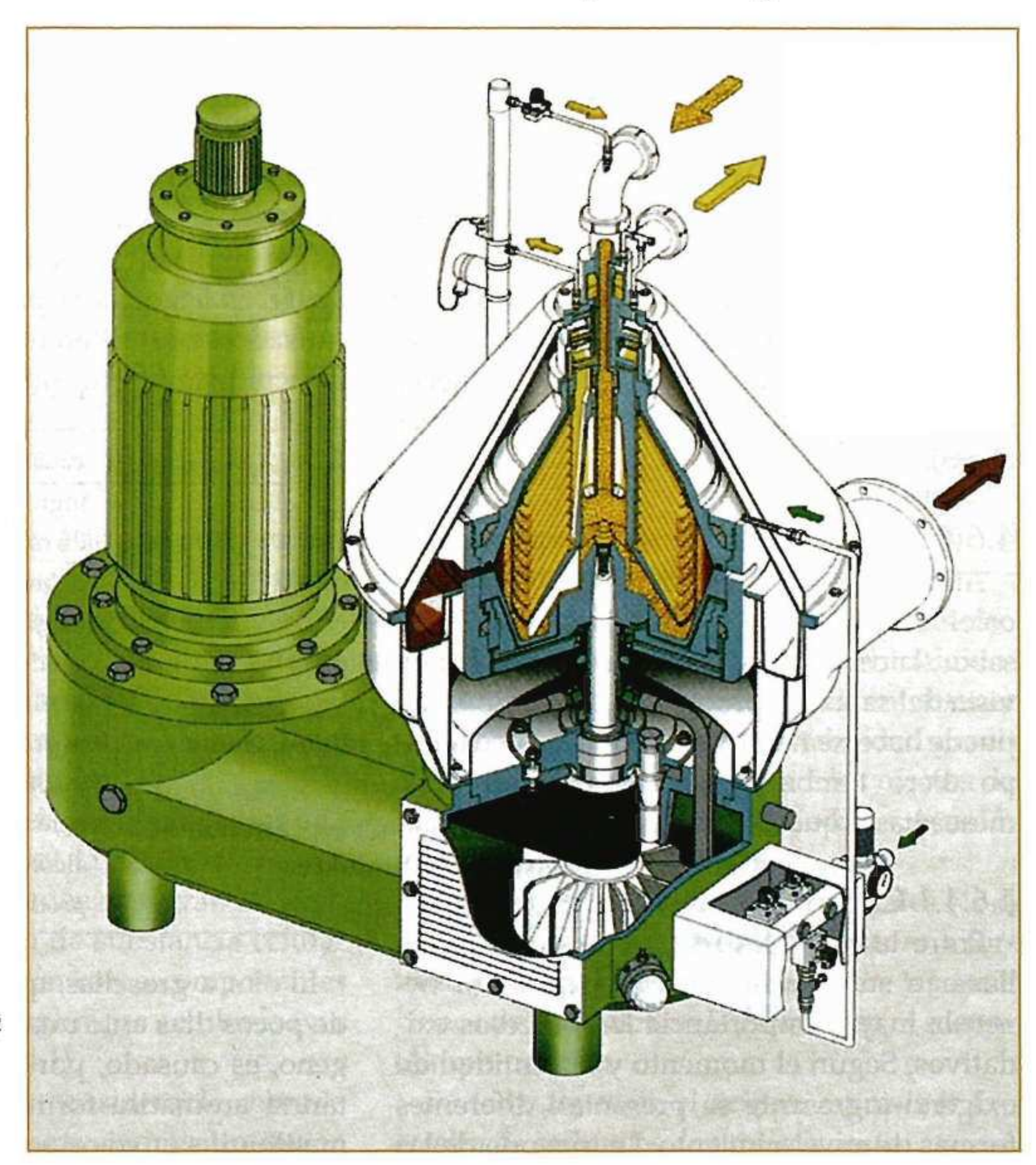


Figura 4.97a
Separadora centrífuga para la preclarificación de cerveza
(Empresa Westfalia Separator AG, Oelde)

la esterilización de estas últimas están previstos los filtros de membrana y esterilizantes mencionados.

4

Depósito de tanques de presión (depósito de cerveza filtrada)

La cerveza filtrada es almacenada en el depósito de tanques de presión en tanques homónimos. Los tanques de presión representan el pulmón para el envasado.

Los tanques de presión son tanques de acero al cromo-níquel sin insertos, que pueden recibir por uno a tres días la reserva de cerveza filtrada. A través de la refrigeración ambiental se mantiene la temperatura en 0 a 1°C. Para ello, los tanques de presión están equipados hoy en día frecuentemente con una aislación térmica.

La limpieza se realiza por proceso CIP. En las paredes y en la descarga se ponen las más altas exigencias en lo que respecta a profundidad de rugosidad (superficie pulida electrolíticamente).

De ser posible, debe evitarse cualquier ingreso de oxígeno (llenar el tanque con agua desgasificada, desplazar y establecer contrapresión con CO_2 puro, llenar por abajo).

4.6.4 Estabilidad de sabor

Aunque la cerveza se estabilice biológica y coloidalmente, con el tiempo empeora el sabor: la cerveza envejece desde el punto de vista del sabor. El proceso de envejecimiento puede hacerse notar ya al cabo de poco tiempo. Pero también pueden pasar algunos meses hasta que sea perceptible.

4.6.4.1 Carbonilos de envejecimiento

Entre las posibles reacciones que pueden llevar a substancias de envejecimiento tienen la mayor importancia los procesos oxidativos. Según el momento y la cantidad de oxígeno ingresante se presentan diferentes formas de envejecimiento. La mayoría de las substancias de envejecimiento que aparecen en esto, casi todas las cuales se caracterizan por un umbral organoléptico extremadamente bajo, son carbonilos (carbonilos de envejecimiento). Los carbonilos (aldehídos) son productos de oxidación de alcanoles (alcoholes) y se caracterizan por la terminación -CHO. Son carbonilos importantes, por ejemplo:

- 2-metilpropanal
- 2-metilbutanal
- 3-metilbutanal y
- fenilacetaldehído

Se forman

- sobre todo por oxidación de alcoholes superiores,
- son significantes en la cerveza vieja por intensificación aditiva,
- tienen una impresión aromática tipo dulzona a malta ("sabor a pan").

Existen cantidades de tales carbonilos, los cuales crean, uno tras otro o a la vez, diferentes matices de sabor, que vuelven a desaparecer o son superpuestos por otros. Son causados por diferentes substancias y se caracterizan por un sabor, como sigue:

Sabor aproximado a	causado por	perceptible con
grosellas	ingreso de oxígeno	5 ng/l
cartón	degradación de grasa	0,1-0,3 μg/l
pan	productos Maillard	
dulzón a malta	degradación de Strecker y oxidación de alcoholes superiores	
sherry	productos Maillard	

El olor a grosellas, que ya aparece al cabo de pocos días ante una carga masiva de oxígeno, es causado, por ejemplo, por la substancia aromática formato de 3-mercapto-3-metilbutilo, cuyo origen no está claro aún.

Pero la formación de los carbonilos de envejecimiento y de sus preetapas no comienza recién con el envasado, sino ya durante la producción de malta y de cerveza. La cantidad principal de los carbonilos de envejecimiento y de sus preetapas se forma en primer lugar:

- por autooxidación de ácidos grasos insaturados,
- por degradación enzimática de ácidos grasos insaturados,
- por oxidación de alcoholes superiores,
- por reacciones Maillard,
- por degradación oxidativa de isohumulonas

y otras transformaciones.

De las substancias que forman la base para los carbonilos de envejecimiento, dos son particularmente importantes:

- los ácidos grasos insaturados y
- los productos Maillard.

Los ácidos grasos son aportados por la cebada, esterificados con glicerol a grasas (lípidos) (ver Sección 1.1.4.3). Los ácidos grasos son degradados en parte por las lipasas durante la germinación y la maceración. Las lipooxigenasas ya degradan en esto los ácidos grasos, siempre que lo permitan bajas temperaturas y un valor pH más elevado (ver Sección 3.2.1.6).

Por oxidación de los ácidos grasos se forman preetapas de los carbonilos de envejecimiento. En esto, los ácidos grasos reaccionan de forma especialmente activa y rápida, mientras se forma un radical peroxi, el cual finalmente causa la formación de una reacción en cadena de radicales.

Pero no debe pasarse por alto que los ácidos grasos, en especial también los ácidos grasos insaturados, tienen una gran influencia sobre la formación de substancia celular durante la fermentación como componentes principales de las membranas celulares (ver al respecto Sección 1.4.1).

Una influencia muy considerable sobre la formación de sabor a envejecimiento tienen los productos Maillard, los cuales se forman especialmente durante el tostado y la cocción del mosto. En esto cumplen un papel esencial la formación de la preetapas (aminoácidos) y toda la carga térmica de la malta durante el tostado (ver Sección 2.5.1.3) y del mosto durante y después de la cocción del mismo.

Dado que una parte substancial de los productos de reacción Maillard ya se forma durante el malteado y posteriormente ya no puede ser reducida, se establece ya antes un componente importante de la calidad de la cerveza y debe ser tenido en cuenta.

Los carbonilos de envejecimiento no sólo tienen un bajo umbral organoléptico, sino que en la cerveza envasada experimentan un aumento cuantitativo. Sobre la base de un ensayo, se mostrará en qué magnitud se intensifican todavía estos componentes [106]: (datos en (μg/l):

Componentes	Cerveza fresca	Cerveza envejecida
2-metilbutanal	60	180
3- metilbutanal	20	110
3-metilbutano-2-on	16	110
fenilacetaldehído	45	250
benzaldehído	4	259
2-furfural	40	3000
γ-nonalactona	60	150

Dado que entre el envasado y el consumo de la cerveza pasan semanas y eventualmente también meses, existe interés en obtener información respecto de la estabilidad previsible ya con la cerveza fresca a los efectos de sacar conclusiones para las medidas tecnológicas a tomar.

Con los métodos de ensayo actuales [154] es posible envejecer la cerveza de forma forzada y obtener informaciones sobre las reacciones de radicales en la cerveza en el menor tiempo posible.

En todos los casos, el oxígeno estimula la formación de carbonilos de envejecimiento.

¡El oxígeno es por ello el enemigo principal de la cerveza!

Dado que el oxígeno es el factor desencadenante para la formación de carbonilos de envejecimiento o de sus preetapas, se debe evitar consecuentemente el ingreso de oxígeno desde el comienzo de la fabricación de cerveza hasta que ésta esté envasada. Pero también se debe indicar que una serie de transformaciones se desarrolla también sin oxígeno.

4.6.4.2 Factores para la estimulación de la estabilidad de sabor

Es por ello necesario eliminar ampliamente desde el principio todos los factores que disminuyen la estabilidad de sabor y, por el contrario, estimular todos los factores que mejoran la estabilidad de sabor.

Los siguientes factores son estimulantes para una buena estabilidad de sabor [151, 183]:

durante el malteado:

- utilización de variedades de cebada con tendencia a un bajo grado de modificación proteica,
- bajo grado de remojo,
- reducción de oxígeno en la germinación a partir del tercer día de germinación,
- mantener el grado de modificación proteica debajo de 41%,
- bajas temperaturas de presecado (30 a 40°C) y tiempos de presecado más prolongados,
- baja carga térmica durante el tostado (5 h a 84°C a 3 h a 90°C),
- mantener el coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ) en la malta en <14;

durante la maceración:

- molienda acondicionada con temperaturas de acondicionamiento más elevadas,
- evitar especialmente el ingreso de oxígeno en el tramo de mezcla; mezclado uniforme,
- mezcla pobre en oxígeno y maceración a elevada temperatura de mezcla (60 a 62°C),
- observar la temperatura de mezcla; la adición de agua caliente ahorra vapor,
- apuntar a pH de templa menor que 5,4 a partir de la mezcla con ácido láctico biológico, apuntar a un valor pH de 5,2,
- transporte cuidadoso de la templa, evitar esfuerzos de corte,
- regular el agitador de forma continua, utilizar bomba de templa controlada por frecuencia,
- mantener alejado el oxígeno durante la maceración, eventualmente inyectar gas nitrógeno,
- finalizar la maceración por abajo, modo de operación pobre en oxígeno,
- no utilizar codos estrechos en las tuberías, ninguna entrada de aire,
- depositar la templa en la cuba de filtración, por abajo;

durante la filtración del mosto y la cocción del mismo:

- breves tiempos de contacto mosto-heces y agua-heces,
- suministro por abajo, evitación de procesos oxidativos,
- minimización de la carga térmica antes y después de la cocción del mosto,
- evaporación de DMS y otras substancias volátiles con la pantalla doble,
- disminuir el tiempo de mantenimiento en caliente en el Whirlpool a menos de 30 min;

durante la fermentación y maduración:

- aireación óptima de mosto y levadura,
- óptima tecnología de levadura, tratamiento de la levadura de cosecha, realización de la propagación de cultivo puro,
- una óptima administración de levadura tiene un efecto positivo sobre la estabilidad de sabor,
- separación rápida y amplia de la levadura sedimentada en el tanque cilindrocónico,

- reducida temperatura de bodega de maduración y tiempos de reposo no extremadamente largos,
- evitar cualquier ingreso de oxígeno desde la filtración hasta la cerveza envasada,
- contenido total de O_2 a alcanzar en la botella/lata < 0,15 mg/l.

Las medidas tecnológicas para el logro estos factores han sido explicadas en los capítulos correspondientes.

A fin de evitar una ulterior oxidación, se adiciona –en países en los que no rige la Ley de Pureza "Reinheitsgebot"– ácido ascórbico u otros agentes reductores (E 102). Sin embargo, la adición de estas reductonas tiene un efecto intensificador de la formación de carbonilos. Esto significa que la adición de ácido ascórbico no puede aumentar sin restricciones la estabilidad de la cerveza.

4.6.4.3 Medidas para evitar el ingreso de oxígeno durante la filtración y el envasado

Para evitar un ingreso de oxígeno en el camino desde la salida del tanque de reposo, pasando por la planta de filtración y los tanques de presión hasta el envasado, son necesarias algunas consideraciones previas e indicaciones:

- En la salida del tanque de reposo, la cerveza tiene un contenido de O_2 de 0,00 a 0,01 mg/l.
- La absorción de oxígeno hasta la entrada de la llenadora debe ser a lo sumo 0,01 a 0,02 mg/l.

En este camino, son posibles fuentes para un ingreso de oxígeno [152]:

- el gas de contrapresión para el vaciado del tanque de reposo,
- la suspensión del medio auxiliar de filtración y el equipo filtración,
- las mezclas inicial y final durante la filtración,
- la poscarbonatación de la cerveza,
- la composición del gas de contrapresión del tanque de presión en el llenado y vaciado,
- las juntas de eje de las bombas,
- las tuberías, mangueras y válvulas,
- los equipos tales como bombas, intercambiadores de calor de placas o pasteurizadores flash y
- todas las fugas (allí donde sale cerveza puede ingresar oxígeno por difusión).

Medidas para la extracción de oxígeno en tanques y tuberías

Las medidas necesarias para evitar, respectivamente reducir, una absorción de oxígeno serán descriptas en los correspondientes capítulos. Pero se llama especialmente la atención respecto de medidas necesarias en el establecimiento de la contrapresión en tanques y tuberías vacíos:

Usualmente se llena el tanque primeramente con agua y el agua es desplazada luego por el CO_2 desde arriba hacia abajo. Pero, dado que el agua contiene cantidades relativamente grandes de oxígeno diluido, este último se diluiría a su vez parcialmente en el CO_2 y aumentaría con ello el contenido de oxígeno en el tanque. Es por ello que esta agua debe ser desgasificada previamente (ver Sección 1.3.5.5):

- a través de desgasificación por proceso de stripping (lavado de CO_2),
- por desgasificación térmica,
- con membranas de fibra hueca,
- a través de desgasificación por vacío o
- por reducción con hidrógeno (catalíticamente),

antes de presionarla nuevamente fuera del tanque por medio de CO_2. Naturalmente que la desgasificación cuesta dinero aun si el agua es reutilizada eventualmente. Además, el agua desgasificada debe ser almacenada bajo atmósfera de CO_2.

La extracción de oxígeno de tuberías, válvulas, codos, codos pivotantes y similares puede causar dificultades considerables,

porque en determinados puntos se pueden formar inclusiones de aire que pueden causar un ingreso de oxígeno en la cerveza. El ejemplo típico son los codos pivotantes, los cuales son instalados obligadamente llenos de aire. En este caso es posible una purga de aire a través de válvulas de purga.

Esto es más difícil en tuberías que cambian verticalmente varias veces su dirección o que poseen largos tramos horizontales. El desplazamiento de burbujas de aire por medio de altas velocidades de flujo es posible, pero requiere un consumo de agua considerablemente más alto –también si se usa agua desgasificada.

También es posible barrer con CO_2 el aire de las tuberías y los tanques. En este proceso, el oxígeno es desplazado relativamente rápido, debido a la elevada diferencia de presión parcial con respecto al CO_2. La tubería puede luego ser nuevamente precargada de forma inmediata con CO_2. Esta variante es más económica que la utilización de agua desgasificada.

La pureza del CO_2 tiene una gran importancia. Hoy en día ya no es suficiente una pureza de CO_2 de 99,97 % en vol., porque se produciría una absorción de oxígeno demasiado alta [153]. Se debe tratar de alcanzar contenidos de CO_2 de 99,998 % en vol. para evitar un ingreso de oxígeno.

4.6.4.4 Medidas para evitar las influencias negativas sobre la estabilidad de sabor después del envasado

Con mucha frecuencia, la cerveza está sujeta a influencias negativas sobre la estabilidad del sabor, sobre todo después del envasado. La fábrica de cerveza sólo puede influir a menudo sobre éstas de manera moderada:

- las temperaturas más elevadas en el comercio deterioran a la larga el perfil de sabor de la cerveza,
- un movimiento constante tiene el mismo efecto,
- la influencia de la luz conduce a un sabor a cerveza asoleada, el que es muy desagradable. El sabor a cerveza asoleada se forma debido al hecho de que, bajo influencia de la luz, un mercaptano de olor desagradable es disociado de una cadena lateral del iso-α-ácido del lúpulo a través de productos secundarios. Los mercaptanos son tioalcanoles, es decir alcoholes, en los cuales está reemplazado el -OH por el -SH, lo cual causa el olor desagradable. Los mercaptanos aún son perceptibles negativamente en cantidades mínimas.

La disociación de la cadena lateral ocurre inducida por la luz con longitudes de onda de 350 a 500 nm. Es este el motivo por el cual la cerveza es envasada por principio en botellas marrones, cuyo color la protege ampliamente –pero no de forma completa– de la transformación (ver Figura 5.1). Las botellas verdes no protegen la cerveza suficientemente del sabor asoleado. Si aun a pesar de ello se envasa la cerveza en botellas verdes o de otros colores, por motivos publicitarios, se la debe proteger de la luz por medio de envoltorios apropiados.

Las luces diurna y solar deterioran más la cerveza que la luz artificial. ¡Se debe por ello ejercer influencia sobre los transportistas y comerciantes de manera que la cerveza no sea sometida a la luz directa, ni durante la labor diaria ni durante el transporte! Pero también una iluminación prolongada con luz artificial deteriora a la larga el sabor de la cerveza.

Últimamente hay también fábricas de cerveza, que la envasan en botellas transparentes por motivos publicitarios. Si es que en esto no se calcula de antemano una merma substancial de calidad, no se ha utilizado para la fabricación de estas cervezas:

- lúpulo o se lo ha empleado en muy reducidas porciones, o

ha lupulado con extracto tetrahidro-iso (ver Sección 1.2.7.2.6).

La estabilidad de sabor de la cerveza es un factor importante para el mantenimiento y la ampliación de la clientela de una fábrica de cerveza. Por ello es necesario que todo el personal sea obligado insistentemente a realizar su aporte para el mantenimiento de la estabilidad de sabor.

Pero también es importante que el personal jerárquico de la fábrica de cerveza se cerciore permanentemente respecto de cuál es la calidad con que finalmente su cerveza es ofrecida en el comercio minorista después de haber permanecido en diferentes puntos de distribución. El cliente es rey –al fin y al cabo él debe seguir comprando y bebiendo nuestra cerveza. Su juicio se rige según la calidad en el momento de venta y él actúa de acuerdo con esto– ¡no interesa en esto nuestra opinión!

¡Por principio, la cerveza fresca siempre es la que más gusta!

La fecha mínima de conservación ("a consumir preferentemente antes de"), que en muchos países debe ser indicada en la etiqueta, no brinda información alguna sobre la calidad de la cerveza, sobre todo teniendo en cuenta que las cervezas prácticamente son ilimitadamente brillantes como consecuencia de la estabilización. Mucho más importante es –tanto para la fábrica de cerveza como para el consumidor– la fecha de envasado, dado que únicamente ésta garantiza una cerveza fresca y de sabor agradable. Por supuesto se debe explicar también al consumidor la relación entre la fecha de envasado y la frescura de sabor de la cerveza, que él no conoce.

La estabilidad de sabor de la cerveza es un factor importante para el mantenimiento y ampliación de nuestra clientela. Es por ello necesario observar rigurosamente todos los factores para mantener alejado el oxígeno desde la mezcla hasta el envasado y también prestar atención a los otros factores. Por eso también es muy importante que el personal de la logística conozca los factores que estimulan una degradación de sabor en la cerveza.

Pero también es importante que nosotros mismos registremos de forma precisa cuan rápida o lentamente se degrada el sabor en nuestra cerveza. Si siempre probamos únicamente cerveza propia fresca, no nos daremos cuenta de ello. Pero nuestro cliente ya bebe la cerveza cuando ésta ya ha permanecido ahí y allá (expresado delicadamente). No tiene sentido alabar la buena cerveza propia si los clientes únicamente pueden beber cerveza envejecida, ya que tienen así una opinión completamente diferente de nuestra cerveza. (respecto de la degustación, ver también Sección 7.4.1).

4.7 Carbonatación de la cerveza

Una cerveza tratada normalmente mantiene su contenido de CO_2 hasta la botella inclusive. Pero puede suceder que el contenido de CO_2 haya disminuido por tratamientos a presión reducida o a mayor temperatura, y ahora debe ser mejorado antes del envasado.

En estos casos se debe restituir el CO_2 perdido. Este proceso se denomina carbonatación. Para ello se intercala un equipo de carbonatación en el recorrido de producción de la cerveza.

En muchas fábricas de cerveza se fija el contenido de CO_2 según los requerimientos de la cerveza para kegs o enlatada y se realiza la poscarbonatación de la cerveza embotellada. Alternativamente, las cervezas con diferentes contenidos de CO_2 deben ser producidas con diferentes contrapresiones.

En el equipo de carbonatación (Figuras 4.98 y 4.98a) se atomiza CO_2 y es disuelto en la cerveza en un ulterior tramo de reacción, efectuado generalmente en forma de codos

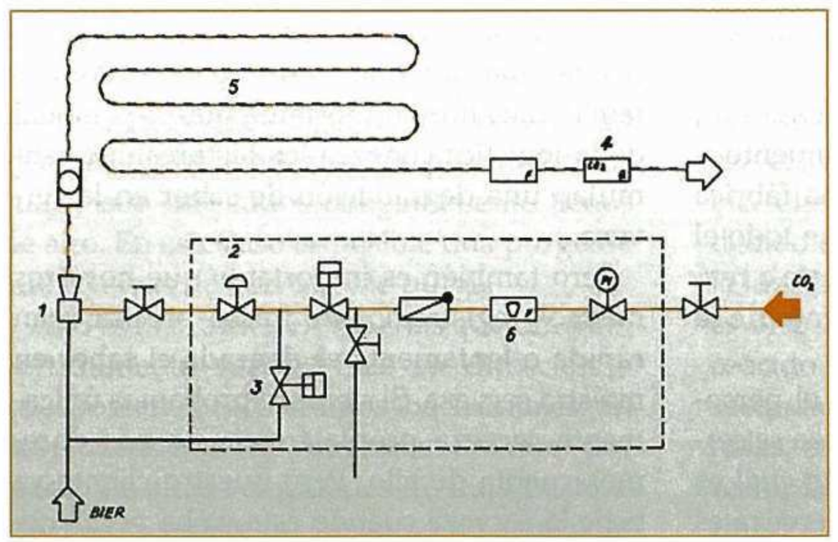


Figura 4.98
Equipo de carbonatación
(1) tobera Venturi
(2) válvula reguladora para CO_2
(3) válvula para CIP
(4) sensor de CO_2
(5) tramo de disolución (mezclador estático)
(6) caudalímetro de CO_2

largos. En principio rige lo mismo que para la aireación del mosto:

- el CO_2 debe ser atomizado lo más fino posible y debe tener la posibilidad de disolverse en la cerveza,
- la ligadura del CO_2 (solución) es primeramente débil; el enlace fuerte con la cerveza dura algún tiempo.

El equipo de carbonatación posee también una válvula de mantenimiento de presión constante, la cual es necesaria porque la presión estática varía constantemente con el llenado del tanque de presión.

Por motivos de calidad se debe cuidar de tener el mayor grado de pureza del CO_2, dado que el oxígeno introducido ahora causa gran daño.

Como ya no hay filtro alguno intercalado detrás del equipo de carbonatación, se debe observar una estricta limpieza en el equipo. Desde ese punto de vista tiene una gran importancia el modo de introducción del CO_2: el equipo de atomización debe ser fácil de limpiar; bajo ningún concepto deberían utilizarse cartuchos sinterizados o dispositivos similares, los cuales difícilmente pueden ser mantenidos en un estado higiénicamente impecable. De lo contrario se estaría cambiando una mejor rescencia por una estabilidad reducida.

Por ello se está interesado en trabajar, en lo posible, sin carbonatación.

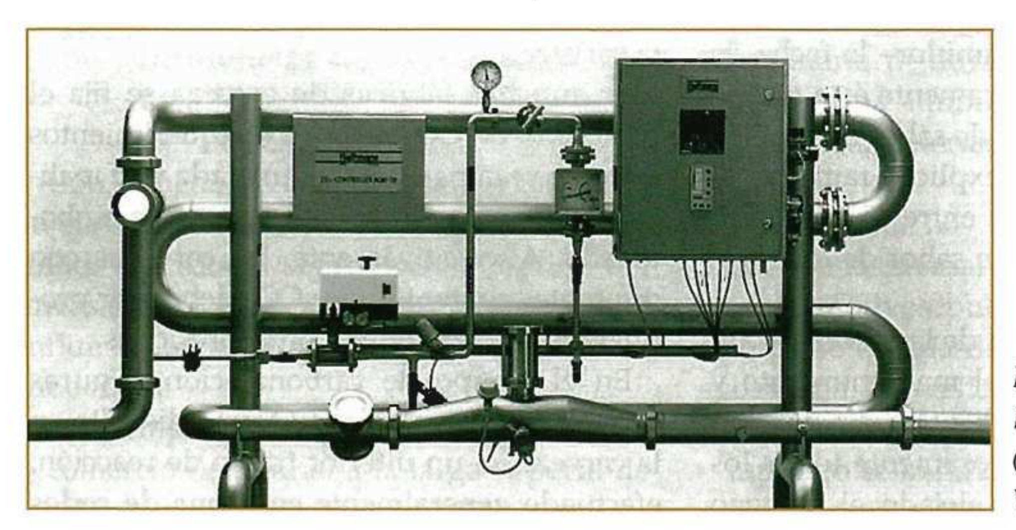


Figura 4.98a
Equipo de carbonatación
(Foto Haffmans GmbH, Venlo, NL)

4.8 Procesos especiales para la fabricación de cerveza

Existen algunos procesos, con ayuda de los cuales se desea lograr determinados efectos. Éstos incluyen en particular:

- la maceración con un mayor contenido de mosto original (High Gravity Brewing),
- el congelado de agua de la cerveza (Ice beer) y
- los procesos para la reducción del contenido de alcohol en la cerveza.

4.8.1 High Gravity Brewing

Por High Gravity Brewing se entiende la fabricación de cerveza con mayor cantidad de mosto caliente. El proceso fue pensado hace aproximadamente 30 años en EE.UU. para aumentar la capacidad de instalaciones existentes. El proceso está permitido en Alemania, de acuerdo con la legislación actualmente vigente.

En el proceso se fabrica un mosto de porcentaje más alto, el cual más tarde es diluido con agua al contenido de extracto deseado antes de la fermentación o durante la filtración. Se pueden adicionar por mezclado preparados de lúpulo, colorantes y aromas para obtener tipos de cerveza especiales.

En el High Gravity Brewing se diferencian tres posibilidades en la concentración del mosto caliente:

- 13,5 - 14,5%; esto es la norma,
- 12 - 13%, para realizar una corrección del mosto original,

mayor que 16%, es raramente utilizado.

El motivo para la introducción del proceso puede estar en la capacidad demasiado reducida de la sala de cocción, particularmente en el sistema de clarificación, que de esta manera puede ser superada. Sin embargo, el motivo principal es que no se necesita calentar y cocer con el mosto la cantidad de agua a ser adicionada más tarde en estado frío. Esto tiene substanciales ventajas económicas. Calculemos aproximativamente:

Una fábrica de cerveza bombea 300 hl de mosto caliente con 11% de extracto. Se encuentran con esto aproximadamente (300 × 11 =) 3300 kg de extracto en la paila. Si se decide realizar el bombeo del cocimiento con un 15% de contenido de extracto, entonces se necesitan para los 3300 kg de extracto (3300 : 15 =) 220hl de volumen de bombeo; con todo esto, en nuestro caso esto representa 80 hl = 26,7% menos que antes para calentar, cocer y enfriar.

Pero este enorme ahorro de energía muestra también que ya con un menor aumento del contenido de extracto, aproximadamente a 13 ó 14%, se pueden lograr ahorros notables.

El aumento del contenido de extracto en el mosto presupone también un aumento correspondiente en el contenido de extracto del primer mosto, el cual generalmente es 4 a 6% más alto que en el mosto caliente, porque aún se requiere aplicar suficiente agua de riego para realizar la extracción por lavado de las heces.

Quedándonos en nuestro ejemplo, resulta un primer mosto con un contenido de extracto de aproximadamente 19 a 20%. Para ello se macera según la siguiente regla empírica:

1 dt de carga + 3 hl agua = primer mosto con 20% de extracto.

En la maceración pura de malta, esto generalmente no causa problemas. Los adjuntos son pretratados y procesados en la caldera de cocción de adjuntos. Sin embargo, tan pronto como se macera con gran cantidad de adjuntos, puede haber serios problemas en el engrudamiento –en especial con el arroz que se hincha fuertemente. Si el arroz es calentado enseguida demasiado y el engrudo espeso de arroz no es licuado al inicio del engrudamiento por medio de una porción

de templa de malta, puede ocurrir que la templa de arroz se queme, o inclusive que se detenga el agitador, por ser muy alta la viscosidad en la templa. En tales casos, un posible incremento en el contenido de extracto del primer mosto debe ser realizado a través de una aproximación muy cuidadosa.

En algunos países se aumenta el contenido de extracto sencillamente por adición de azúcar, jarabe de sacarosa comercial o jarabe de almidón. El jarabe de sacarosa representa un azúcar puro fermentable; de esta manera aumenta la atenuación límite en la cerveza, lo cual debe ser tenido en cuenta en el proceso de maceración (por ejemplo, proceso de maceración por ssuperiores). En el jarabe de almidón se indica el contenido de azúcares fermentables.

La adición del jarabe a la paila de mosto ocurre, por supuesto, recién aproximadamente 10 min antes del final de la cocción, dado que ya no se degrada nada más.

Los mostos con porcentajes de extracto más elevados son más fáciles de clarificar con filtros de templa de nueva generación que con cubas de filtración. El contenido de extracto más elevado del primer mosto y el mayor volumen de heces son también factores limitantes para cubas de filtración modernas.

En esto es importante el hecho de que se gana más tiempo para realizar la extracción por lavado de las heces a los efectos de mantener reducido el contenido de extracto de la última agua. Una reutilización de la última agua no es conveniente por motivos cualitativos y de tiempo.

Debido a la viscosidad más elevada del mosto y a la correspondiente mayor cantidad de trub y eventuales heces de lúpulo, puede empeorar la sedimentación de trub en el Whirlpool en el caso de mostos con elevados porcentajes de extracto. Pero, básicamente, el proceso se desarrolla como en el mosto normal.

La adición de agua fría ocurre ahora antes de la fermentación, después de la fermentación principal o recién después de la filtración.

Si el agua es adicionada antes de la fermentación, esta última se desarrolla de forma normal y raramente debe temerse el surgimiento de problemas.

En la adición posterior a la fermentación principal se aprovecha –en el caso de tanques cilindrocónicos de fermentación y de reposo de igual tamaño– la disminución de volumen ocurrida entretanto, debida a las capas de espuma desaparecidas, y se pueden aprovechar totalmente los tanques.

La adición de agua fría antes o después de la filtración requiere la mayor atención para garantizar la calidad de la cerveza, tal como veremos más adelante.

La adición de agua antes de la fermentación ocurre generalmente junto al enfriador de placas y con la misma temperatura que la del mosto. La adición debe ser constantemente igual a lo largo de toda la transferencia del mosto para obtener una mezcla homogénea. No es posible producir una mezcla homogénea, por ejemplo vertiendo una cantidad predeterminada de agua en un tanque lleno.

Esta agua debe ser blanda y biológicamente perfecta. Esta agua no necesita ser desaireada, porque la levadura habrá consumido el oxígeno contenido al cabo de pocos minutos. Con ello se puede proseguir normalmente.

Pero también es posible y frecuentemente usual fermentar el mosto de mayor porcentaje de extracto y diluir recién después. Esto casi no produce ganancia energética, porque el calor de fermentación también debe ser evacuado, pero se ahorra en volumen de tanque y con ello también dinero.

Pero, si se fermenta el mosto de mayor porcentaje de extracto, esto tarda más y se forman más productos secundarios de fer-

r ntación, sobre todo ésteres y alcoholes s periores. En especial, el mayor contenido d ésteres es detectable en la cerveza redilui- d si no es posible acelerar la fermentación y n jorar la propagación. Esto se logra:

- través de una mayor dosificación de vadura,
- través de un mejor suministro de oxíge- o a la levadura; cantidad propuesta: 1 mg e O_2 por cada 1 % de contenido de mosto riginal,
- on aireación intensiva del mosto por medio de mezclador estático u otro dispo- sitivo de aireación,
- extrayendo el trub sedimentado pocas horas después de llenado del tanque y tratando de llevar la levadura desde las zonas inferiores hacia arriba, por ejemplo, insuflando aire,

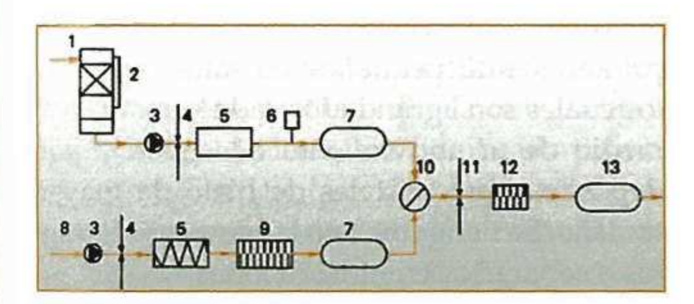


Figura 4.99
Ajuste de la concentración deseada, por adición de agua

(1) agua cervecera tratada
(2) desaireador por vacío
(3) bomba
(4) adición de CO_2
(5) intercambiador de calor de placas
(6) medidor de oxígeno
(7) tanque buffer
(8) cerveza del tanque de presión
(9) filtro de cartuchos
(10) punto de mezclado
(11) medición de CO_2 y de mosto original
(12) filtro de partículas
(13) tanque buffer

- cosechando la levadura tan pronto como sea posible y volviendo a iniciar la fermentación luego de la aireación. Es recomendable ocuparse a tiempo de la propagación de levadura fresca. Aparte de ello es recomendable utilizar aquellas levaduras que forman menos productos secundarios de fermentación o emplear sales estimulantes para la levadura.

Por lo general se forman más productos secundarios de fermentación en el caso de tener mayores temperaturas y un contenido de mosto original más elevado.

Como valor límite vale un contenido de mosto original de 14,5-15,0%; por encima de este valor, los productos secundarios se hacen notar en la cerveza terminada.

La adición de agua después de la fermentación ocurre generalmente durante el recorrido desde el tanque de reposo cilindrocónico hasta el filtro o recién después del filtro (Figura 4.99). Esta es la parte más complicada de todo el proceso, porque esta agua debe cumplir muchas exigencias. Esta agua debe:

- corresponder en su composición química (valor pH, contenido de sales) a la cerveza,
- estar refrigerada a -1°C,
- estar esterilizada por medio de un filtro esterilizante,
- estar completamente desgasificada (vacío, lavado de CO_2),
- estar carbonatada al contenido de CO_2 de la cerveza y
- ser dosificada exactamente a lo largo de la transferencia de la cerveza. Al mismo tiempo deben dosificarse las mezclas inicial y final. Una corrección posterior ya no es posible.

La dosificación de esta agua requiere complicados dispositivos de control y medición. El costo económico necesario para ello sólo se justifica, sin embargo, para grandes fábricas de cerveza.

El sabor de las cervezas fabricadas por el proceso High Gravity Brewing, luego de la

dilución, casi no es diferenciable del de las cervezas de porcentaje normal si es que no ha sido excedido el contenido de mosto original de 14,5 a 15%.

Por lo general, la espuma sufre en la dilución y ello tanto más cuanto más se ha diluido. Se puede realizar una corrección también en relación con el amargor de lúpulo, por medio de adición de extractos de lúpulo isomerizados o con esencia aromática de lúpulo, tal como ya ha sido descripto. Tales adiciones no están permitidas según la Ley de Pureza "Reinheitsgebot".

4.8.2 Fabricación de cerveza tipo "Ice beer"

Como se sabe, el agua se congela a 0°C y la cerveza lo hace recién por debajo de esa temperatura, dependiendo de los contenidos de extracto y de alcohol:

contenido de mosto original 11,5%
contenido alcohólico 4,6% en vol.
temperatura de congelación -2,3°C

contenido de mosto original 15,5%
contenido alcohólico 6,0% en vol.
temperatura de congelación -2,9°C

La cerveza no se congela aquí homogéneamente, es decir, en una composición constante, sino que primeramente comienza a congelarse el agua. Si se hace descender la temperatura por debajo de 0°C, el agua se separa en la parte más fría en forma de hielo. Junto con el agua se separan en el hielo también algunos componentes insolubles en frío, particularmente polifenoles y proteínas, en tanto que el alcohol se enriquece con las otras substancias de extracto.

De este modo antaño, los cerveceros gustaban producir "su" cerveza tipo Eisbock. Lo hacían colocando un barril de cerveza tipo Bock (en lo posible metálico) en un recipiente con salmuera o dejándolo afuera en una noche fría de invierno: en la pared interior se formaba una capa de hielo cada vez más gruesa, en tanto que en el interior se concentraba cada vez más la cerveza tipo Bock –ahora turbia– de porcentaje progresivamente creciente. Dado que el hielo se dilata mucho al enfriarse, el tapón se salía debido al aumento de presión y podía destruir el resultado exitoso si, por ejemplo, la salmuera entraba fluyendo. El contenido alcohólico descontroladamente alto y el sabor agradablemente suave y moderado hacían de esta cerveza tipo Eisbock una bebida "peligrosa".

Naturalmente que una operación tal por lotes es totalmente inadecuada para la producción de "Ice beer". Se debe evitar, sobre todo, que el hielo formado se deposite en algún lugar y restrinja la producción con su espesor creciente.

Es por ello necesario mover permanentemente la cerveza durante el enfriamiento y para la formación de grandes cristales de hielo. En este caso se forman en la cerveza primeramente pequeños cristales de hielo, los cuales son agrandados cada vez más por medio de un movimiento adecuado y por depósito sobre cristales de hielo de mayor tamaño. Se tiene con esto la base para filtrarlos o separarlos en hidrociclones.

La cerveza formada tiene siempre un mayor contenido alcohólico que la cerveza de partida; posteriormente se adiciona agua desgasificada e impregnada con CO_2 y se ajusta con ello el contenido alcohólico deseado de la cerveza tipo "Ice beer". El contenido alcohólico de la cerveza tipo "Ice beer" es siempre algo más elevado que el de la cerveza de partida y es definido de forma precisa por la fábrica de cerveza productora de la "Ice beer".

Debido a la extracción parcial de polifenoles y substancias albuminoideas, la cerveza tipo "Ice beer" así obtenida tiene un sabor más suave y redondeado; también son mejoradas generalmente la espuma y la estabilidad frente a la cerveza de partida.

¡El nombre "Ice beer" sólo tiene algo que ver con su producción, pero no con la tem-

[tem]peratura a la que se la bebe, como piensa [mu]cha gente! La Figura 4.100 muestra el p[ri]ncipio de una planta de "Ice beer" (L[a]batt/Niro): la cerveza terminada de fer[me]ntar es enfriada a través de un refrigera[do]r de cerveza y se separa la levadura por m[e]dio de una centrífuga. Luego se continúa re[f]rigerando la cerveza por medio de un re[f]rigerador de temperaturas muy bajas y se la bombea posteriormente a través de tres intercambiadores de calor, en los cuales se disminuye la temperatura de la cerveza a -4°C; se forman así en esto pequeños cristales de hielo. En el separador siguiente, la cerveza es movida mecánicamente y los pequeños cristales de hielo muy fríos son depositados sobre cristales existentes, de mayor tamaño; se juntan en este proceso con estos últimos hasta alcanzar una dimensión filtrable. En este separador siempre queda una cantidad determinada de este hielo (porcentaje). El hielo es ahora extraído por filtración o con un hidrociclón, en tanto que la cerveza enriquecida con el alcohol es bombeada primeramente a un tanque de almacenamiento antes de ser ajustada con agua carbonatada al contenido alcohólico prefijado.

La ventaja principal del proceso radica en la mejora generalmente perceptible en la calidad de la cerveza, en tanto que un contenido deseado de alcohol también se puede lograr con el proceso High Gravity Brewing. El esfuerzo técnico para el proceso de fabricación de cerveza tipo "Ice beer" sólo vale la pena si se puede obtener un mayor precio aceptable por el producto.

4.8.3 Procesos para la extracción del alcohol

Puede haber varios motivos para extraer parcial o totalmente el alcohol de la cerveza:

- existe una necesidad progresiva de vivir sanamente, sin alcohol,
- también los conductores de vehículos pueden disfrutar de cerveza libre de alcohol sin tener que temer consecuencias negativas,
- también existen motivos religiosos para la prohibición de alcohol.

La extracción de alcohol puede ocurrir de forma completa o sólo parcial; las legislaciones en los diferentes países varían mucho al respecto.

La extracción de alcohol puede ser realizada por diferentes caminos. Los procesos usuales pueden ser asignados a tres grupos:

- procesos de separación por membrana,
- procesos térmicos e
- interrupción o prevención de la formación de alcohol.

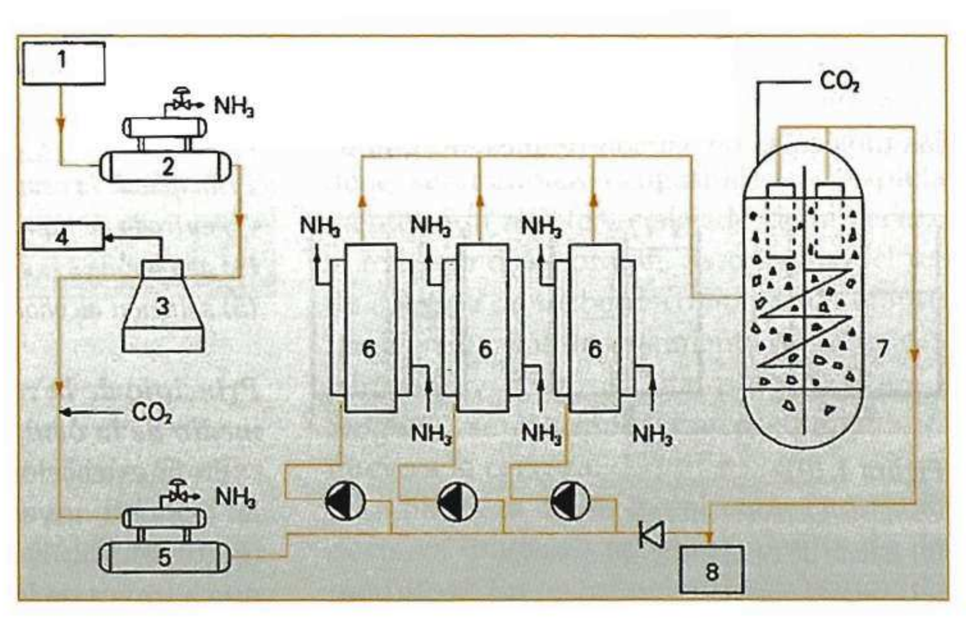


Figura 4.100
Fabricación de cerveza tipo "Ice beer"
(Empresa Labatt/Niro)
(1) de fermentación/maduración
(2) refrigerador de cerveza
(3) centrífuga
(4) levadura
(5) refrigerador de cerveza
(6) refrigerador de cerveza a bajas temperaturas
(7) separador de hielo
(8) a la llenadora

Se utilizan los tres grupos de procesos y tienen sus ventajas y desventajas, las cuales serán detalladas individualmente.

4

4.8.3.1 Procesos de separación por membrana

En los procesos de separación por membrana, la cerveza es pasada sobre una lámina extremadamente fina de celulosa de algodón o acetato de celulosa, y así se extrae el alcohol. Pero en la separación del alcohol se utilizan diferentes efectos físicos en los procesos.

4.8.3.1.1 Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es la inversión de la ósmosis. Pero lo que es la ósmosis será demostrado a través del siguiente ensayo mental: un recipiente es separado en el medio por una pared. En la parte inferior queda una abertura, la que cerramos con una membrana. Esta membrana tiene poros tan finos que sólo deja pasar agua pura. Las membranas que tienen poros tan finos, que permiten únicamente la difusión hasta un determinado tamaño de molécula, son llamadas semipermeables.

Ahora llenamos el recipiente hasta la mitad con agua que se esparce a ambos lados de la membrana con igual altura (Figura 4.101). Introducimos una carga de sal en el lado izquierdo del recipiente y diluimos esta última. Las moléculas de sal tienen la gran necesidad de diluirse en mucha agua. Dado que las moléculas de sal son demasiado grandes para pasar a través de la membrana, atraen el agua a través de la membrana, hacia su lado, hasta que la concentración de las substancias diluidas es igual a ambos lados. La presión hidrostática de la columna de agua formada, de mayor altura, a la cual el proceso se detiene, es la presión osmótica (= presión de equilibrio) entre las moléculas de agua ingresantes y las moléculas que salen debido a la presión hidrostática.

Este proceso se llama ósmosis y es conocido. Todos los procesos vitales, también, por ejemplo, en la levadura, son regulados de forma osmótica.

Ahora, por el contrario, aplicamos presión sobre el lado izquierdo de nuestro recipiente y presionamos el agua pura contra la presión osmótica, a través de la membrana, hacia el lado derecho (c). Este proceso en la inversión de la ósmosis: la ósmosis inversa.

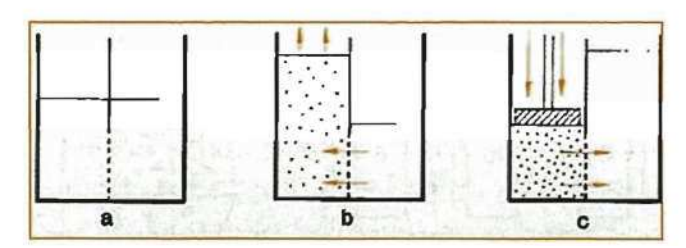


Figura 4.101
Ósmosis/Ósmosis inversa
(a) estado de equilibrio, (b) ósmosis,
(c) ósmosis inversa

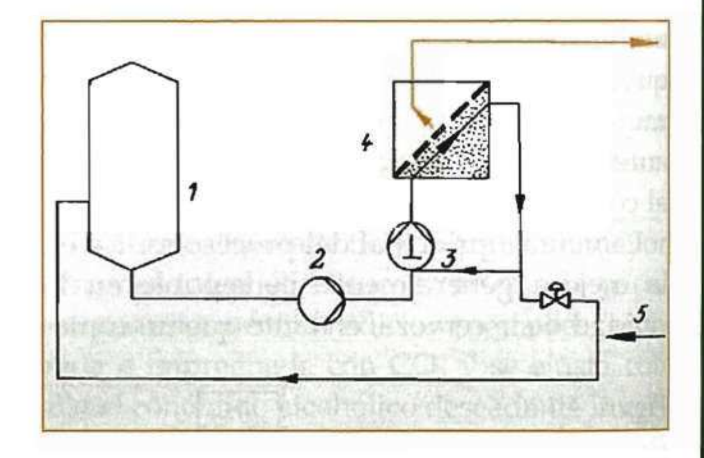


Figura 4.102
Principio de la ósmosis inversa
(1) entrada de líquido no filtrado, (2) membrana,
(3) adición de agua, (4) cerveza desalcoholizada,
(5) solución alcohólica diluída

Principio de la reducción de alcohol por medio de la ósmosis inversa

En la extracción del alcohol por medio de la ósmosis inversa se bombea la cerveza (Figura 4.102; 1) por lotes o de forma continua a través de los módulos separadores. En

este proceso, el agua y el alcohol son presionados a través de la membrana, en contra de la presión osmótica natural (2). Todas las moléculas de mayor tamaño, como las substancias de sabor y aromáticas, quedan por el contrario en la cerveza. Dado que se extrajo agua, se debe adicionar permanentemente agua (3), que ha sido desalinizada y desaireada. De este modo, el contenido alcohólico disminuye permanentemente. Dado que la generación de presión por medio de una bomba conlleva un calentamiento, el equipo debe ser refrigerado para que la temperatura de la cerveza no exceda 15°C.

En este proceso, el sentido de flujo de la cerveza es tangencial a la membrana y la superficie de la misma es lavada por las fuerzas de corte producidas en esto. Los procesos de este tipo se llaman filtración de flujo tángencial o de flujo cruzado (ver Sección 4.5.2.7).

La mezcla de alcohol y agua pasada a través de la membrana se llama permeato (5) y tiene un contenido alcohólico de 1,5 a 1,8%. El bajo contenido alcohólico no justifica un enriquecimiento del alcohol. El permeato es

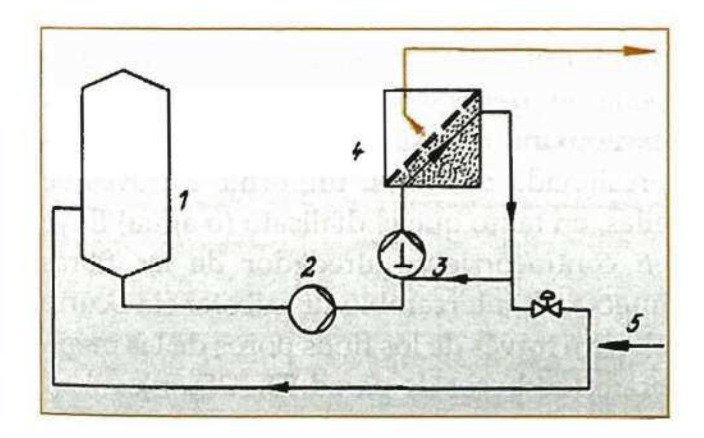


Figura 4.103
Equipo para la ósmosis inversa (discontinuo)
(1) tanque de presión, (2) bomba de alta presión, (3) bomba de recirculación, (4) módulos filtrantes, (5) adición de agua de filtración por diálisis, (6) permeato, (7) válvula de mantenimiento de presión

reutilizado por ejemplo para el riego.

Equipo para el proceso de ósmosis inversa

El equipo para la ósmosis inversa (Figura 4.103) está compuesto por un tanque de presión para cerveza (1), en el cual se almacena la cantidad de cerveza a desalcoholizar. A través de una bomba de alta presión (2) se aumenta la presión a aproximadamente 40 bar y, por medio de una bomba de recirculación (3), se logra que la cerveza fluya con alta velocidad sobre las membranas y que éstas no se obturen. Una válvula de mantenimiento de presión garantiza una presión constante.

4

Los módulos (4) son la pieza más importante y por lejos también la más costosa del equipo. Los caudales específicos para estas membranas, que generalmente son de acetato de celulosa, se encuentran entre 50 a 80 l por m^2 y hora. La superficie de membrana debe ser correspondientemente grande, lo cual se refleja finalmente en los costos. Un equipo con 18 módulos separadores puede producir aproximadamente 25 hl/h de cerveza libre de alcohol.

La cantidad de mezcla de alcohol y agua (permeato) extraída es reemplazada por agua de filtración por diálisis (5), dado que, si no, aumentaría la concentración. La recirculación continúa hasta tanto se haya alcanzado la reducción de alcohol deseada.

Un dispositivo adicional necesario es el equipo de desalinización de agua. El agua debe ser también desgasificada completamente para mantener alejado de la cerveza al oxígeno deteriorante. Esto incluye el uso de dióxido de carbono como gas de empuje también en el almacenamiento del agua desalinizada y desgasificada, porque, si no, el oxígeno se difunde inmediatamente de nuevo a la cerveza.

La limpieza de las membranas es también decisiva para el funcionamiento de los módulos. En esto deben ser removidos

todos los depósitos que se encuentran sobre las membranas a fin de mantener el pasaje a través de las mismas. Los procesos y agentes de limpieza dependen del tipo de membrana. Un tratamiento inadecuado conduce a un cambio en los poros y con ello a la destrucción de las membranas.

Realización de la ósmosis inversa [37]

La cerveza es introducida en los módulos en la forma descripta por medio de la bomba de alta presión y la bomba de recirculación. Los módulos estan agrupados generalmente de a seis. La cerveza recién parcialmente desalcoholizada es retornada al tanque a través de una válvula reductora de presión, que reduce nuevamente la elevada presión de 40 bar en los módulos. En esta fase todavía no se adiciona agua.

Durante la desalcoholización se diferencian ahora tres fases:

- la fase de concentración,
- la fase de filtración por diálisis y
- la fase de rellenado.

Fase de concentración

En el pasaje a través de los módulos se producen aproximadamente 2,2 l de permeato por cada 1 hl de cerveza. De este modo aumentan el contenido alcohólico y la concentración de la cerveza (Figura 4.104).

A partir de una determinada concentración, algunos contenidos de la cerveza, en especial el gel de β-glucano, restringen la permeabilidad de las membranas de manera que la concentración está limitada.

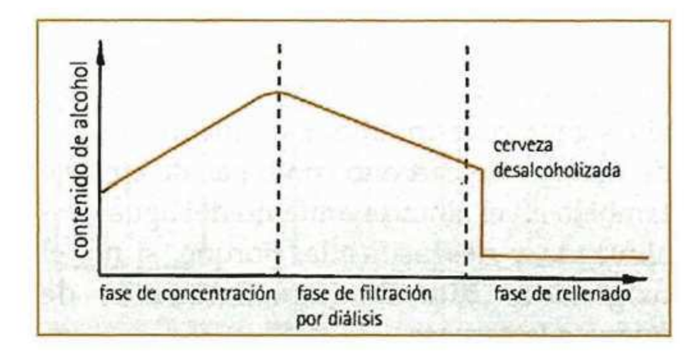


Figura 4.104
Fases en la desalcoholización en el proceso de ómosis inversa

Fase de filtración por diálisis

Durante la fase de filtración por diálisis se reemplaza la cantidad de permeato extraída a la cerveza por agua desalinizada durante el tiempo necesario hasta alcanzar el contenido alcohólico deseado en el concentrado.

Fase de rellenado

El concentrado es ahora rellenado con agua hasta el volumen original de la cerveza de partida y con ello se reduce el contenido alcohólico a menos de 0,5%. Al mismo tiempo debe mezclarse la cerveza con CO_2, dado que queda sólo poco CO_2 en ésta, debido a la ósmosis inversa y la adición de agua.

4.8.3.1.2 Proceso de diálisis

En el proceso de diálisis, la membrana está construida como fibra hueca con un muy reducido espesor de pared. Estas fibras huecas tienen un diámetro de fracciones de milímetro (50 a 200 μm) y poseen poros muy finos. En un módulo se encuentran ubicados varios miles de estas finas membranas agrupadas en haz y selladas en ambos extremos, exceptuando las conexiones. La cerveza es presionada de forma uniforme a través de ellas, en tanto que el dialisato (o agua) fluye en contracorriente alrededor de las fibras huecas. El intercambio de substancia ocurre ahora a través de los finos poros de las membranas (espesor de pared 10 a 25μm).

Principio del proceso de diálisis

En la diálisis, todas las substancias diluidas a ambos lados de la membrana tratan de alcanzar el equilibrio con el lado contrario. Ello significa que también el alcohol de la cerveza pasa al dialisato durante el tiempo necesario hasta alcanzar a ambos lados las

mismas concentraciones [113]. Si se extrae el alcohol que se encuentra en el dialisato, entonces se difunde el alcohol del otro lado de la membrana durante el tiempo necesario hasta alcanzar el equilibrio. Si esto es efectuado en contracorriente (Figura 4.105), el alcohol es extraído muy rápidamente.

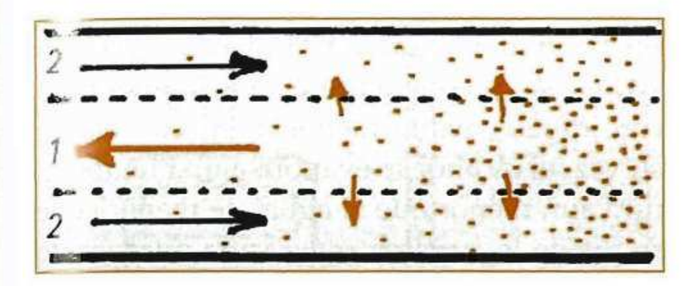


Figura 4.105
Principio de la diálisis
(1) sentido de flujo de la cerveza a desalcoholizar en la fibra hueca, (2) sentido de flujo del dialisato en la cubierta exterior

La figura muestra que la cerveza con alcohol ingresa fluyendo por la derecha. Dado que en ese lugar en el dialisato hay menos alcohol contenido, el alcohol de la cerveza fluye a través de la membrana al dialisato para equiparar el contenido. Cuanto más hacia la "izquierda" fluye la cerveza, tanto menos alcohol contiene ahora, porque el dialisato que fluye en sentido contrario contiene aún menos –al ingresar fluyendo por la "izquierda", éste no contiene nada de alcohol– de manera que al final del pasaje de la cerveza de derecha a izquierda, casi todas las moléculas de alcohol han sido entregadas al dialisato, que es pasado en contracorriente junto a la membrana.

Con esto la cerveza ya casi está liberada del alcohol. Pero para ello se lo tiene ahora en el dialisato, y debe ser ahora extraído también de este último para que el proceso pueda proseguir. El alcohol es extraído del dialisato de forma cuidadosa por medio de destilación continua a presión negativa (destilación por vacío = menor temperatura de destilación).

En comparación con la ósmosis inversa, la diálisis requiere un gasto significativamente más alto. Para ello, ésta trata la cerveza de forma más cuidadosa porque la separación ocurre a baja temperatura y la cerveza se calienta durante el proceso sólo desde 1°C a aproximadamente 6°C. El sistema opera por el lado de la cerveza con una muy baja sobrepresión de aproximadamente 0,5 bar, la cual alcanza, sin embargo, para el intercambio de substancias.

Realización del proceso de diálisis

Una planta de diálisis (Figura 4.106) consiste en los módulos de membrana de diálisis (1+2) como parte principal de la planta.

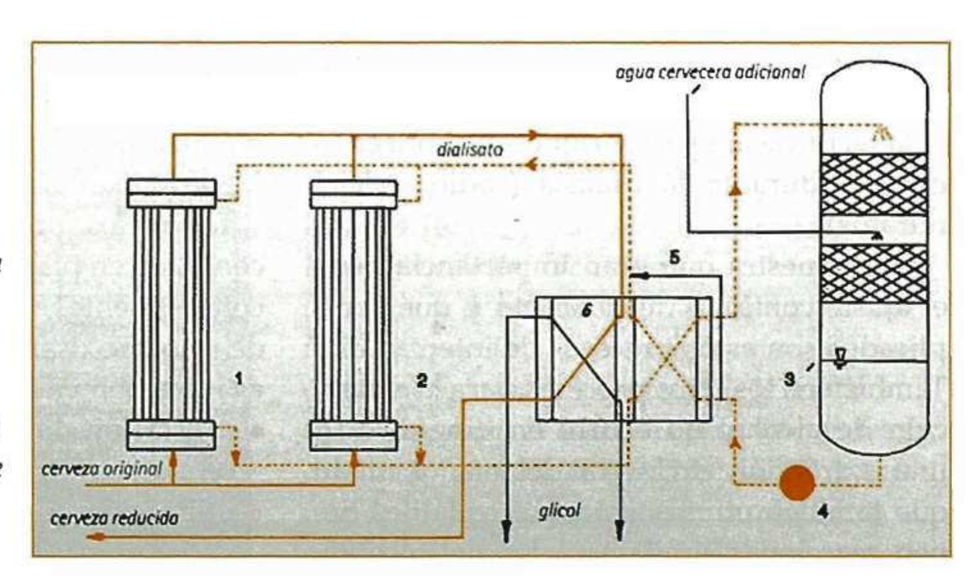


Figura 4.106
Realización de la diálisis
(1 + 2) módulos de membrana de diálisis
(3) columna de rectificación
(4) bomba
(5) regulación de temperatura
(6) intercambiador de calor de placas

Estos módulos están construidos generalmente como módulos de fibra hueca, a través de cuya membrana de poros finos ocurre el intercambio de substancias (difusión) en contracorriente. La cerveza reducida en contenido alcohólico es luego enfriada en el intercambiador de calor de placas (6) a aproximadamente 1°C y retornada al tanque de presión.

El dialisato enriquecido con alcohol es liberado nuevamente de éste en la columna de rectificación (3) y retornado por medio de una bomba de dialisato (4) a los módulos; así ocurre en esto una regulación de temperatura (5).

La declaración de que solamente difunde alcohol a través de la membrana es por supuesto correcta solamente de forma muy parcial. En realidad, durante la diálisis se le extraen a la cerveza en gran medida productos secundarios de fermentación levemente volátiles, también CO_2 [38]. Esto ya está relacionado con el hecho de que durante la producción de dialisato se expulsa el alcohol –y con éste una porción considerable de otras substancias volátiles, en particular ésteres y alcoholes superiores. Con esto, estas substancias pasan durante la diálisis de la cerveza al dialisato, siendo así extraídas de la cerveza. Las pérdidas son en algunos ésteres de hasta 65%. Por otro lado, también pueden pasar substancias del dialisato a la cerveza; esto corresponde por ejemplo a sales en el agua, las cuales precipitaron en el dialisato durante la rectificación y se enriquecen ahora en la cerveza durante la diálisis (sodio, calcio, nitratos).

Esto muestra qué gran importancia tiene el ajuste continuo del dialisato y qué complicados son estos procesos de intercambio. También en los otros procesos para la extracción de alcohol no ocurre en ningún caso una extracción exclusiva del etanol, dado que también otras substancias volátiles tienen reacciones similares a las del alcohol. Aun así, la diálisis es hoy en día una forma frecuente de reducción alcohólica.

4.8.3.2 Procesos térmicos/destilación

En los procesos térmicos se trata de liberar el alcohol de la cerveza a través del calentamiento. A 1 bar, el agua tiene un punto de ebullición de 100°C, el alcohol tiene un punto de ebullición de 78,3°C. Pero la evaporación del agua no comienza recién a 100°C, sino lentamente a una temperatura considerablemente menor. Pero con ello, a su vez, el alcohol se evapora a una temperatura aún menor que el agua, de manera que se puede lograr una separación a través de ese camino.

Sin embargo, una evaporación a condiciones atmosféricas conlleva temperaturas más elevadas y con ello un deterioro en el sabor.

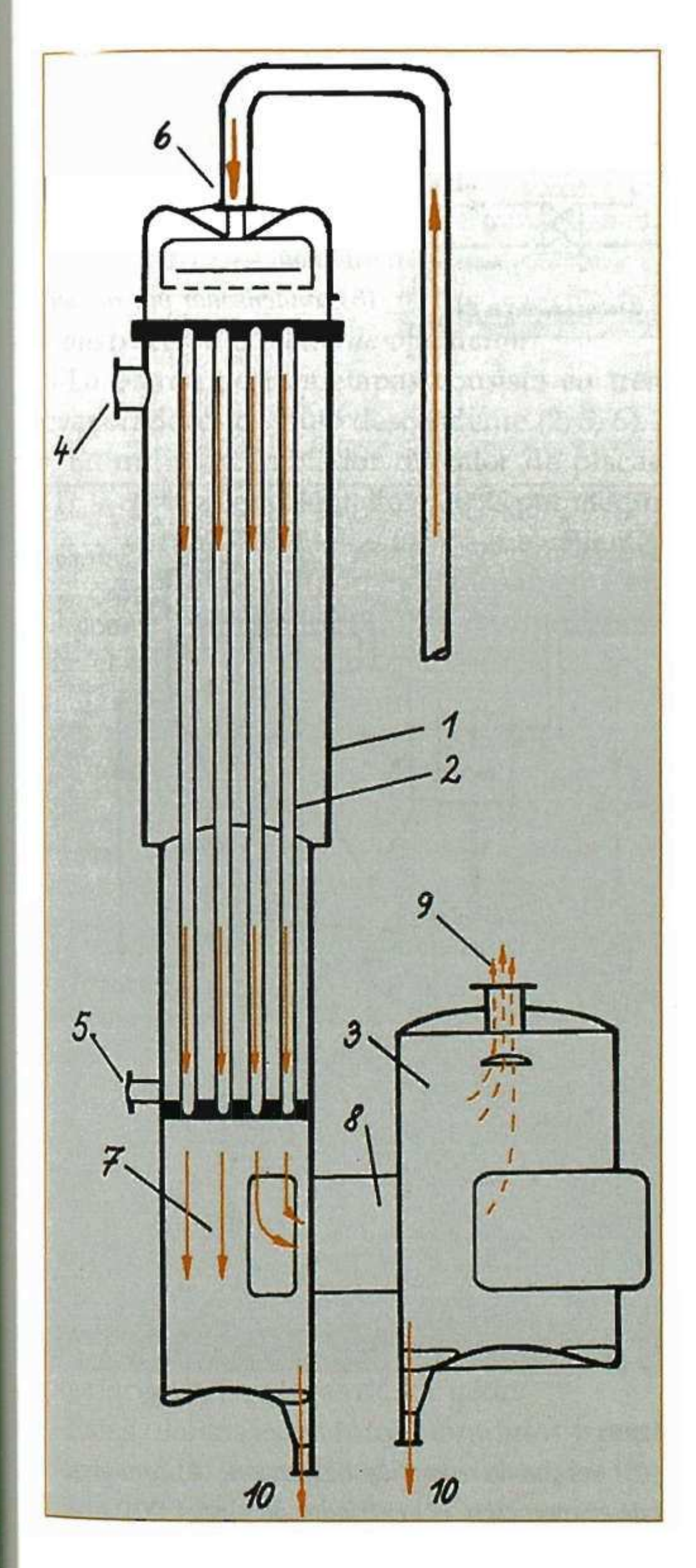
Sabemos también que la temperatura de evaporación = temperatura de ebullición es dependiente de la presión: si reducimos la presión, es decir, producimos un vacío, se puede extraer al alcohol a temperaturas substancialmente menores. Por ello, todos los procesos térmicos para la extracción del alcohol son realizados de forma cuidadosa en vacío, en un espacio de aire enrarecido a presiones absolutas entre 0,04 y 0,2 bar y se pueden alcanzar con esto temperaturas de evaporación entre 30°C y 55°C. Una reducción de la calidad de la cerveza debida a la temperatura aumentada depende aquí de:

- la temperatura de evaporación y
- el tiempo de espera entre calentamiento y enfriamiento.

Todos los procesos térmicos utilizados consisten en plantas de destilación por vacío con diferentes diseños del intercambiador de calor. Se usan las siguientes variantes de evaporación en la destilación por vacío:

- utilización de evaporadores de flujo descendente (Figura 4.107),
- utilización de columnas de destilación de varias etapas (Figura 4.108),

- ilización de un equipo evaporador de latos de tres etapas (Figura 4.109) y
- ilización de evaporadores centrífugos igura 4.110).



Evaporador de flujo descendente (Figura 4.107)

Un evaporador de flujo descendente consiste en una columna de 4 a 5 m de altura (1) con tubos calentadores (2), a través de los cuales la cerveza es calentada a una temperatura máxima de 45°C bajo vacío. En el flujo descendente escapa el alcohol, el que es separado en un separador (3) intercalado detrás y finalmente es precipitado en un condensador. La cerveza ya parcialmente desalcoholizada es sometida nuevamente a este proceso en un segundo evaporador de flujo descendente y finalmente desalcoholizada cuidadosamente hasta aproximadamente 0,03% en vol.

Destilación por vacío (Figura 4.108)

En este proceso, la cerveza a desalcoholizar (1) es calentada en un intercambiador de calor de placas (2) a 45°C y en un subsiguiente stripper de aroma (3) se reduce rápidamente la presión. En esto se evaporan los componentes aromáticos volátiles de la cerveza, los cuales más tarde son nuevamente adicionados en el equipo de recombinación (5). En la subsiguiente columna de vacío (4), la cerveza es liberada del alcohol a aproximadamente 40°C, el cual es precipitado y evacuado en un condensador por rociado (6). La cerveza desalcoholizada es refrigerada en el intercambiador de calor de placas (2) a 4 a 5°C y en el posrefrigerador a 0 a 1°C.

Figura 4.107
Evaporador de flujo descendente
(1) columna de evaporación, (2) tubos calentadores, (3) separador, (4) entrada de vapor, (5) descarga de condensado, (6) entrada de la cerveza, (7) condensación de la cerveza parcialmente desalcoholizada, (8) tubo de transferencia, (9) evacuación de los vapores que contienen alcohol, (10) salida de la cerveza desalcoholizada

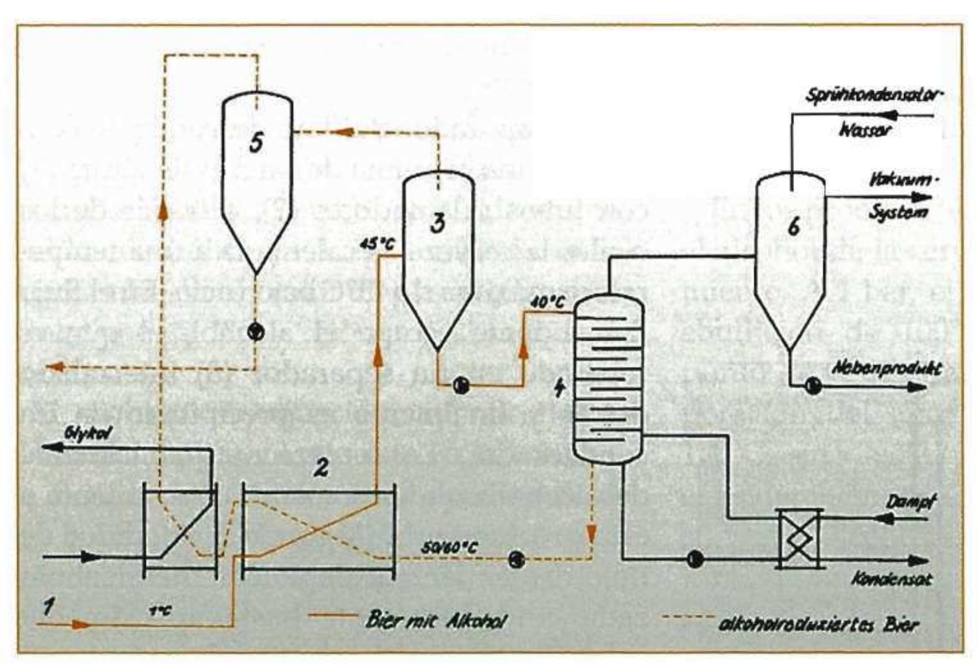


Figura 4.108
Planta de destilación por vacío
(1) entrada de la cerveza
(2) intercambiador de calor de placas
(3) stripper de aroma
(4) columna de vacío
(5) tanque de recombinación
(6) condensador por rociado

Figura 4.109: Planta de evaporación por vacío de tres etapas
(1) intercambiador de calor, (2) 1ª etapa de evaporación, (3) tanque de reducción de presión, (4) condensador por rociado, (5) 2ª etapa de evaporación, (6) 3ª etapa de evaporación, (7) enfriador de placas

En el tanque de recombinación (5) es mezclada con las substancias aromáticas volátiles extraídas previamente.

Planta de evaporación por vacío de tres etapas

En esta variante (Figura 4.109) se calienta y se evapora en tres etapas. Las ventajas son:

- las diferencias de temperatura son menores,
- los evaporadores de placas tiene elevados coeficientes de transmisión de calor y
- se minimiza el tiempo de permanencia en las superficies de transmisión de calor.

Construcción y modo de operación

La planta de tres etapas consiste en tres evaporadores de flujo descendente (2, 5, 6).

En un intercambiador de calor de placas (1), la cerveza es calentada a 30°C por medio de cerveza desalcoholizada y agua caliente. Se continúa calentando cuidadosamente en el primer evaporador (2) la cerveza calentada; el vapor de alcohol que escapa es acumulado en el subsiguiente tanque de reducción de presión (3), en un condensador por rociado (4) es precipitado con condensado refrigerado (-1°C) y es evacuado.

La cerveza aún rica en alcohol es calentada en un subsiguiente evaporador (5) hasta una temperatura máxima de 38 a 40°C y los vapores alcohólicos formados son conducidos al tercer evaporador (6) y condensados. En este proceso continúan evaporando alcohol, el cual calienta luego esta cerveza en la primera etapa de evaporación (2).

La cerveza desalcoholizada de la primera etapa es terminada de desalcoholizar en la tercera etapa (0,3 a 0,4% de alcohol). Luego de la refrigeración en el refrigerador (1) y posrefrigerador (1), es descargada.

Estas plantas están muy difundidas y pueden ser dimensionadas para caudales de hasta 200 hl/h.

Evaporadores centrífugos de alto rendimiento

Una interesante posibilidad adicional para la desalcoholización de la cerveza consiste en pasar la cerveza en forma de película fina sobre la superficie calentada de discos centrífugos [42, 43].

Debido a la influencia de la fuerza centrífuga, la cerveza es conducida como capa fina por entre los discos y calentada en esto por medio de vapor saturado, el cual es suministrado a través de la pared doble del evaporador centrífugo (Figura 4.110). En este proceso, el alcohol se evapora y escapa, y puede ser evacuado, en tanto que la cerveza reducida en contenido alcohólico es presionada hacia afuera y extraída a través de un disco de salida.

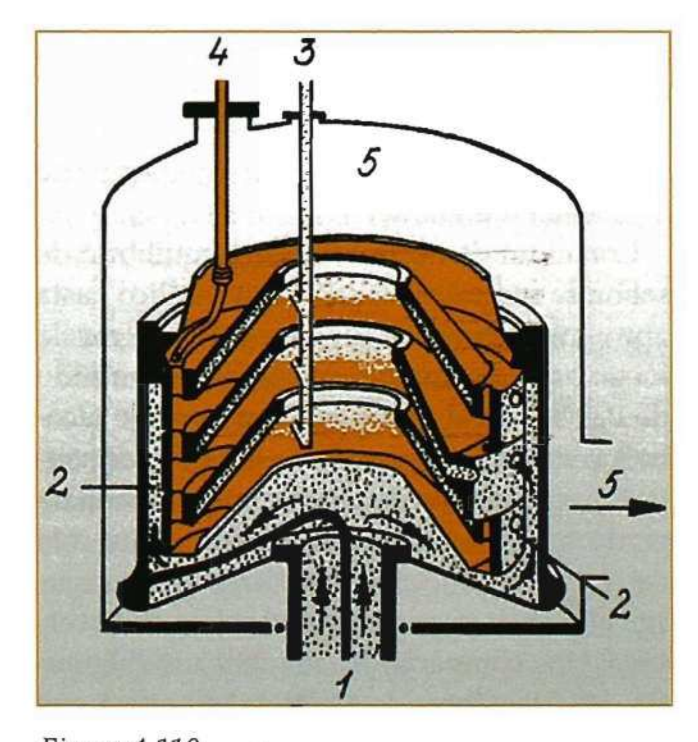


Figura 4.110
Evaporador centrífugo
(Proceso Centri-Therm, Empresa Alfa Laval)
(1) entrada del vapor y descarga del condensado, (2) entrada del vapor a los discos calentables de la centrífuga, (3) entrada de la cerveza a desalcoholizar, (4) salida de la cerveza parcialmente desalcoholizada, (5) extracción de los vapores que contienen alcohol

Aquí se trabaja siempre con vacío y temperaturas de 30 a 34°C para lograr el mayor cuidado posible del producto. El proceso dura en total menos de 10s, pero debe ser repetido varias veces, dado que una reducción inmediata del contenido alcohólico por debajo de 0,5% no es posible sin problemas.

Cambios de sabor de cervezas desalcoholizadas según los procesos de membrana o de destilación por vacío

La cerveza desalcoholizada ya no tiene el mismo sabor que la cerveza de partida. Esto de debe a dos motivos:

- el alcohol mismo contribuye a la impresión de sabor y
- durante el proceso de desalcoholización no sólo se ha extraído el etanol, sino también con él muchas otras substancias aromáticas volátiles. Corresponden a éstas en particular:
  - alcoholes superiores y
  - ésteres, los cuales son extraídos en parte hasta en un 80%.

Con el fin de lograr un cierto equilibrio de sabor, se reduce el contenido alcohólico hasta aproximadamente 0,30 % en vol. y se nivela luego hasta el contenido alcohólico permitido de 0,5 % en vol. (para cerveza libre de alcohol) con mosto en máxima etapa de fermentación, cerveza verde o cerveza terminada de madurar. De este modo llegan de nuevo a la cerveza substancias aromáticas, que restauran al menos parcialmente el sabor de la cerveza. Una comparación de sabor con diferentes cervezas libres de alcohol demuestra que esto no siempre es logrado.

También en el caso de una desalcoholización parcial de otras cervezas (cerveza liviana, cerveza dietética), vale la pena un ulterior descenso del contenido alcohólico para luego llevar la cerveza al contenido alcohólico deseado por medio de mezcla con mosto en máxima etapa de fermentación, cerveza verde o cerveza terminada de madurar.

En esto se obtiene en la mezcla:

- con cerveza filtrada el contenido proporcional de substancias aromáticas,
- con mosto en máxima etapa de fermentación una nota más vivaz y floral a levadura.

4.8.3.3 Supresión de la formación de alcohol

Otro método para la fabricación de cervezas libres de alcohol consiste en ni siquiera realizar la fermentación alcohólica, o en interrumpirla tan tempranamente que el contenido alcohólico deba permanecer reducido.

El problema radica en que el sabor no se modifica suficientemente para llegar a ser el sabor de la cerveza y se produce una mezcla mosto/cerveza de sabor dulzón/acartonado.

A los efectos de descomponer, respectivamente de reducir, de entrada este carácter a mosto, las siguientes medidas han probado ser exitosas [112]:

- el punto de partida debería ser una cerveza al 7 a 8%,
- la carga debería contener 8 a 15% de malta caramelo pálida (ver Sección 2.9.10),
- no cocer demasiado brevemente a fin de evaporar substancias aromáticas a mosto; en esto tienen una gran importancia los compuestos volátiles de carbonilos (aldehídos), que son los portadores del sabor a mosto,
- una buena selección de la cepa de levadura, debido a la formación de productos secundarios,
- es importante el momento de dilución luego del proceso de cocción,
- el valor pH de la cerveza en formación es muy importante. Con una fermentación del 10% se produce sólo un valor pH de aproximadamente 5,0 o un poco por debajo, lo cual contribuye al sabor a mosto.

Los procesos con fermentación interrumpida incluyen:

- la fermentación con levaduras especiales,

- l proceso de contacto levadura/frío,
- interrupción de la fermentación a un ɔntenido alcohólico menor que 0,5%,
- utilización de levaduras inmovilizadas.

Fe nentación con levaduras especiales

l proceso más sencillo consiste en no utiliz r para la fermentación la levadura de cerve a usual, sino levadura de la cepa Sa charomycodes ludwigii, la cual, si bien fe nenta fructosa y glucosa, no es sin en bargo capaz de disociar y fermentar msuperioresa. Con esto, el contenido alcohólico queda en este proceso por debajo de 0,5 % en vol. de alcohol. Pero la cerveza posee un elevado contenido de azúcar y sabe dulce.

Proceso de contacto levadura/frío [53]

En este proceso, el mosto es mezclado íntimamente a -2°C con levadura de cerveza. Bajo esas condiciones, la levadura prácticamente no produce alcohol, pero aun así desarrolla sus propiedades más importantes para la producción del aroma de cerveza y para la eliminación del sabor a mosto. Esto incluye la absorción de determinados ácidos orgánicos y substancias aromáticas de lúpulo, así como la formación de diferentes ésteres. Sin embargo, es importante que sean reducidos los compuestos carbonilos como portadores del sabor a mosto.

La cerveza fabricada según el proceso de contacto levadura/frío tiene ventajas analíticas y organolépticas.

Interrupción de la fermentación a un contenido alcohólico menor que 0,5% en vol.

Estas cervezas son fabricadas generalmente con un contenido de mosto original de 9 a 11% y cocidas con adición reducida de lúpulo. Se inicia la fermentación y se las fermenta hasta un contenido de alcohol de 0,5% (atenuación aparente aproximadamente 10%). Se puede alcanzar una atenuación límite generalmente baja por:

- un proceso de maceración por ssuperiores o
- coutilización de heces de cerveza como componente de sabor [72].

En el último caso se macera una templa de aproximadamente el 15% (1 dt de malta + 4 hl de agua) durante 60 a 80 min a 40°C y se la agrega a una templa de heces (1 dt de heces + 2 hl de última agua) cocida durante 30 min. La temperatura de la templa total es aumentada a 72°C (V_s^{end} 60%). Luego de 30 a 45 min de sacarificación, se calienta a 76°C y se termina de macerar.

La fermentación es llevada a temperaturas por debajo de 8°C hasta un contenido alcohólico menor que 0,5% en vol. y es interrumpida por:

- extracción de la levadura por centrifugación,
- extracción de la misma por filtración o
- pasteurización flash.

Posteriormente la cerveza es madurada durante mínimamente 10 días a 0 a 1°C a los efectos de evitar un sabor penetrante a azufre y luego es filtrada, carbonatada, estabilizada y esterilizada.

Fermentación con levaduras inmovilizadas

Se entiende por inmovilización de la levadura su unión a un portador (ver Sección 4.4.9). La unión de las células de levadura a materiales portadores apropiados ofrece la posibilidad de la utilización controlada del potencial enzimático de la levadura [44], en particular en las fases exponencial y estacionaria de la fermentación, y con ello de formación y reducción de productos secundarios de fermentación.

La levadura es depositada sobre el material portador. Pero esto no se logra con cualquier cepa de levadura, de manera que es muy importante la selección de la cepa adecuada de levadura, también debido a la formación de sabor. Cuando la levadura está depositada, puede actuar durante mucho tiempo. Las células de levadura extraídas

por lavado son reemplazadas por células en crecimiento.

Según este proceso, se producen en la fábrica de cerveza Bavaria, Lieshout/NL, 800000 hl de cerveza libre de alcohol por año [45]. En esto, el mosto fluye lentamente, en un tiempo regulable de 5 a 20 h y a 1°C, a través de una masa granular, en la cual se encuentra depositada la levadura. Debido a la baja temperatura y la velocidad regulable del pasaje, se puede controlar y regular de forma precisa la formación de alcohol.

El proceso es controlado de manera tal que, si bien la formación de alcohol se desarrolla de forma restringida, se forman sin embargo productos secundarios de fermentación y con ello componentes formadores de sabor. Según declaraciones de la fábrica de cerveza, el bioreactor funciona durante meses sin fallas. No se forman biomasas. Se consideran ventajas adicionales:

- mejor aprovechamiento de la materia prima,
- no hay pérdidas,
- no hay problemas medioambientales,
- fase de arranque muy rápida.

Se trabaja en una mejora del proceso, en particular en lo referente a una mejora adicional del aroma de la cerveza.

El trabajo con levaduras inmovilizadas posibilita el control preciso de los procesos de fermentación y maduración, y provee con ello una buena base para el continuo desarrollo de la fabricación de cerveza libre de alcohol.

4.9 Prevención de accidentes en la fermentación, la maduración y la filtración

4.9.1 Peligros de accidente debidos a dióxido de carbono de fermentación

La mayor fuente de riesgo en la fermentación es sin duda el CO_2 formado durante esta última. Hemos visto (Sección 4.3.1.2) qué grandes cantidades de CO_2 se forman durante la fermentación. Para el cervecero, que particularmente entra en contacto permanente con el CO_2 en instalaciones convencionales, es importante tener conocimientos precisos respecto de las propiedades y el método de acción del CO_2:

El CO_2 es inodoro y no tiene sabor; es 1,5 veces más pesado que el aire y se acumula por ello en la parte inferior de tanques y espacios. Pero en una atmósfera de trabajo en movimiento no sólo se produce una acumulación en la parte inferior de tanques y espacios, sino que en todos lados se producen valores incrementados de CO_2. Pero con la presencia de CO_2 disminuye la porción de O_2 en el aire necesaria para la respiración, lo cual causa dificultades de respiración. Con una porción por debajo de 1% en vol. de CO_2, el efecto negativo no es todavía detectable de forma permanente. Por ello se establece en Alemania:

- en 0,5% en vol. de CO_2, la máxima concentración en el lugar de trabajo (valor MAK),
- en 1,0% en vol. de CO_2, el valor temporario alcanzado como máximo tres veces por turno durante 60 min, el cual no debe ser excedido.

En el caso de mayores concentraciones, aparecen:

- a 1 a 2% en vol., cambios en el cuadro sanguíneo, en el caso de esfuerzos corporales,
- por encima de 2% en vol., respiración con dificultad, trastornos circulatorios en el cerebro con primeros trastornos de la vista (anillos y discos),
- a mayores porciones de CO_2 aumenta la frecuencia de pulso, se presentan dolores de cabeza, mareos, zumbidos de oídos etc., hasta que, con concentraciones de 8 a 10%, se produce la pérdida de conocimiento y finalmente la muerte.

La historia de la industria cervecera registra muchos accidentes fatales debido a CO_2.

Casi siempre, la causa ha sido la sobreestimación de la propia fuerza frente al CO_2. El "patrón" seguido por la mayoría de los accidentes era el siguiente: "Ve tú nomás a comer –yo termino bien rápido el tanque o la cuba". El surgimiento del cansancio y los raros síntomas de debilidad fueron asumidos como posefectos del fin de semana pasado y se continuó trabajando hasta que un desvanecimiento obligaba a caer al trabajador. La mayor concentración de CO_2 en el piso causaba la pérdida de conocimiento y finalmente la muerte. En la mayoría de los casos, el trabajador que volvía de comer ya sólo podía constatar la muerte. Pero también, en caso de sobrevivir, se debe considerar la existencia de muy graves daños permanentes. Es por ello necesario prestar atención a las siguientes indicaciones respecto de la extracción de CO_2 antes de ingresar a los tanques.

Extracción del CO_2 antes de entrar a los tanques

En el caso de tanques cilindrocónicos, la extracción de CO_2 está resuelta por el hecho de que de todos modos estamos interesados en captar el dióxido de carbono debido a la fermentación, para utilizarlo nuevamente para uso propio, a través de la planta recuperadora de CO_2.

Pero en el caso de cubas de fermentación abiertas, el CO_2 rebasa y debe ser evacuado de la parte inferior de la cava de fermentación. En esto se debe prestar atención a la fuerte acumulación de CO_2 que generalmente existe los lunes por la mañana al comienzo de los trabajos. En instalaciones de mayor tamaño, la evacuación natural del CO_2 debe ser apoyada por potentes ventiladores.

Para la entrada a cubas de fermentación y tanques de reposo rigen directivas especiales. Esto es especialmente importante por el hecho de que son esperables grandes acumulaciones de CO_2 como consecuencia de las pobres posibilidades de ventilación en esos tanques. Es importante:

- El contenido del tanque o la cuba debe ser liberado de CO_2 por aspiración o rociado al punto tal de alcanzar un valor de 0,5% en vol. de CO_2 y temporariamente 1,0% en vol. de CO_2.
- Debe existir un certificado de permiso, en el cual estén establecidas las medidas de protección a tomar.
- La persona que ingresa a la cuba debe ser instruida antes de ingresar, y regularmente, respecto de los peligros que pueden presentarse. Esto debe ser registrado en actas.
- Debe existir un puesto de seguridad que mantiene el contacto con la persona entrante.
- Debe nombrarse un supervisor que controle que las medidas de protección son cumplidas.

Obligación de medición

En Alemania existe una obligación de medición en el caso de cubas de fermentación abiertas y tanques de reposo, dado "que no se puede excluir que se presente una substancia peligrosa en la atmósfera del lugar de trabajo".

Antaño se realizaba una medición por medio de una vela encendida, la cual se dejaba deslizar hacia abajo en la cuba: si la vela se apagaba, aún había CO_2 en la cuba. Pero la vela recién se apaga con una concentración de 8 a 10% de CO_2; es decir, en el rango de un riesgo agudo incrementado, y por ello no es utilizable para una medición.

Hoy en día se emplean para ello aparatos detectores de gas para muestras al azar o mejor aún para la medición continua.

4.9.2 Trabajo en recipientes a presión

Básicamente está establecido que todos los recipientes, en los cuales se puede producir

4

una sobrepresión de más de 0,1 bar sobre el nivel de líquido, deben ser considerados como recipientes a presión y deben aplicarse las disposiciones de la correspondiente reglamentación. Estos recipientes incluyen los tanques de reposo convencionales y los tanques cilindrocónicos de fermentación y de reposo. Como consecuencia de su gran altura y de las cantidades de mosto y cerveza contenidos en ellos, deben cumplirse requisitos especiales, en particular en el caso de tanques cilindrocónicos.

Aberturas de tránsito
(Bocas de entrada de hombre)

Para el tránsito sin peligro, cada tanque cilindrocónico debe estar provisto de sendas aberturas de transito superior e inferior con una sección de abertura de mínimamente 450 mm; la abertura inferior, que cubre la sección más inferior del cono de salida, debe ser diseñada de manera tal que el líquido no escape cuando han sido aflojados todos los tornillos.

La abertura superior debe ser ubicada en la placa del domo; en el tránsito desde arriba –en especial para la inspección del estado de las paredes–, la persona que entra debe ser asegurada por medio de arnés y sogas; no deben utilizarse escalas de soga o escaleras de pared. Existen para el tránsito:

- dispositivos especiales para el tránsito de personas y
- aparatos especiales de tránsito de tanque, que posibilitan realizar trabajos junto a las paredes.

En cualquier caso debe asegurarse antes del tránsito una ventilación exhaustiva del tanque. En esto deben cumplirse las "Directivas para trabajos en recipientes y espacios estrechos".

Dispositivos de seguridad contra exceso de presión

Un exceso de presión es posible en todo momento en el tanque cilindrocónico. La sobrepresión ya puede presentarse por el hecho de que el tanque ha sido sobrellenado accidentalmente. Contra esto actúa la sonda de máximo, la cual desconecta la bomba al ser alcanzado el nivel de llenado, evitando así el sobrellenado. Tampoco puede excluirse un posible exceso de presión en el llenado bajo contrapresión o en el vaciado a presión.

Como medida de seguridad, cada tanque posee una válvula de sobrepresión cargada por resorte o por contrapesos (ver Sección 4.4.2.1.2.1).

Dispositivo de seguridad contra presión negativa

La necesidad y el modo de operación de válvulas de vacío han sido detallados en la Sección 4.4.2.1.2.2.

Limpieza y calentamiento de los dispositivos de seguridad en el tanque cilindrocónico

Los dispositivos de seguridad en los tanques pueden quedar inoperables por aglutinamiento o por congelamiento. En especial en el caso de instalación al aire libre, es cuestionable la operabilidad de todo el dispositivo de válvulas y accesorios. Por ello es necesario:

- incluir los dispositivos de seguridad en la limpieza CIP,
- calentar los dispositivos de seguridad en caso de necesidad.

Transitabilidad de la placa del domo

El equipamiento ubicado en la placa del domo debe poder ser alcanzado en todo momento sin problemas y sin riesgos. Para ello se encuentra sobre todos los tanques cilindrocónicos una plataforma de servicio al mismo nivel que la placa del domo. Ello es independiente de una instalación de los tanques al aire libre o bajo cubierta.

Los tanques cilindrocónicos son recipientes a presión según la Reglamentación de Recipientes a Presión por otro motivo más:

el amoníaco es inyectado en la camisa de refrigeración con una presión más alta. Ésta es una presión que se encuentra muy por encima de la presión reinante dentro del tanque. Las fisuras, soldaduras mal realizadas etc., posibilitan la salida del amoníaco del sistema refrigerante. Esto puede causar graves daños. Por este motivo, la utilización de grandes cantidades de amoníaco está sujeta a un control legal más severo.

4.9.3 Trabajo con kieselgur

La filtración ya es impensable sin kieselgur. Pero en el trabajo con kieselgur se forma un polvo de sílice, que es riesgoso para la salud según el Registro de Substancias Peligrosas.

La peligrosidad resulta de la elevada porción de SiO_2 cristalino (cristobalita) en el kieselgur, que se presenta junto a la forma amorfa y que todavía es aumentado durante el tratamiento en el horno de tambor.

Durante el trabajo con kieselgur, este polvo cristalino de sílice es absorbido por las vías respiratorias. Una gran parte del polvo aspirado es transportado nuevamente fuera del pulmón.

Sin embargo, una parte del polvo fino se deposita en el pulmón. Las células fagocitarias (macrófagos) existentes allí tienen la capacidad de absorber cuerpos extraños y de neutralizarlos.

Pero, con el polvo inhalado, estas células sucumben, lo cual, con el tiempo, da como resultado la formación de callosidades y deformaciones en la zona de las vías respiratorias y los pulmones. El resultado es silicosis y silicotuberculosis.

Por este motivo han sido establecidas disposiciones muy estrictas para la manipulación de cuarzo y arenas de sílice, entre las cuales se encuentra el kieselgur.

Como medidas de protección contra la formación de polvo de kieselgur se proponen:

- aspiración en el área de la planta y filtración del polvo (filtro fino de papel u otras membranas),
- aspiración de polvos en el aparato dosificador por medio de bomba de chorro de agua,
- vaciado de los sacos de kieselgur sin que se forme polvo, a través de una máquina vaciadora de sacos,
- eliminación de los sacos de kieselgur sin que se forme polvo, por medio de una máquina compresora helicoidal,
- uso de máscara protectora contra polvos (equipo de filtración con filtro de partículas P_2),
- entrega del kieselgur en vehículo de silo y depósito en silos.

Los trabajadores expuestos a la acción de polvo de sílice deben ser revisados regularmente por un médico habilitado para ello.

4.9.4 Indicaciones generales respecto de la prevención de accidentes

La prevención de accidentes es una cuestión general de preocupación tanto de los operadores de las plantas como de los trabajadores que trabajan en éstas. La observancia de las Reglamentaciones de Prevención de Accidentes (UVV) de las Mutuales de Prevención contra Accidentes (BG) debería ser por ello una cuestión asumida por parte de todos los trabajadores.

Para la industria cervecera alemana, el ente responsable es la BG Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN). Ésta emite las Informaciones de Seguridad Laboral (Disposiciones ASI) como material de información y educativo. Al respecto se hace especial referencia a las disposiciones:

- AS/9.11/96 "Protección de la salud en fábricas de cerveza",
- AS/8.01 "CO_2 en la industria de fermentación",
- ZH1/77 "Directivas para el trabajo en recipientes y espacios estrechos".

4

Existen otras fuentes de información en:

Lista de VBG:

Lista de las Reglamentaciones Individuales de Prevención de Accidentes (UVV).

Lista de ÜA:

Tratados de reglas técnicas, reglamentaciones y formularios preimpresos para equipos que requieren monitoreo, seguridad laboral, derecho laboral y protección medioambiental.

Lista de ZH1:

Directivas, regulaciones de seguridad, reglas, principios, hojas informativas y otras disposiciones de las asociaciones profesionales referentes a seguridad y salud en el trabajo.

Human Nutrition

BASF
The Chemical Company

Contacto:
BASF AG
Beverages Processing Polymers
Carl-Bosch-Str. 38, E-MEE/HK
67056 Ludwigshafen
Alemania

Teléfono: 00800/22 73 66 66
Telefax: 00800/22 73 66 61
http://www.divergan.basf.de

Creamos claridad

Divergan® elimina selectivamente los polifenoles causantes de la turbidez y preserva la gran calidad de una buena cerveza.

Divergan®

La PVPP de BASF

cosa clara

5 Envasado de la cerveza

La cerveza es envasada:

- predominantemente en *botellas de vidrio,*
- una parte en *latas* y
- otra parte en *kegs*, en *barriles para fiestas* y
- en contenedores más pequeños.

La cerveza es envasada cada vez más también en botellas plásticas.

Durante el envasado deben conservarse todos los parámetros de calidad y se debe evitar cualquier ingreso de aire a la cerveza.

Para la realización del envasado desde el suministro hasta el despacho se requiere un sistema integral de máquinas, embalaje y transporte. A través de un sistema integral de control debe cuidarse de que únicamente salgan a la venta aquellas botellas o contenedores que cumplen con las normas requeridas (Figura 5.0).

5.1 Envasado en botellas de vidrio retornables

La mayor parte de la cerveza es envasada en botellas de vidrio retornables y una parte menor en botellas de vidrio no retornables. Las botellas plásticas de PET, PEN u otro material también son cada vez más interesantes para el envasado de cerveza.

5.1.1 Botellas de vidrio retornables

5.1.1.1 Ventajas y desventajas de las botellas de vidrio

El vidrio es en muchos aspectos un material ideal de embalaje para bebidas. Es

- neutral en sabor,
- impermeable al gas,
- resistente al calor e
- indeformable.

Como punto esencial negativo está el hecho de que las botellas de vidrio son

- muy pesadas (el embalaje con cajón pesa tanto como el contenido) y
- frágiles. Los trozos de vidrio son de cantos muy filosos y existe un considerable riesgo de lesiones.
- La eliminación para desecho de los trozos de vidrio causa a veces problemas.

5.1.1.2 Fabricación de las botellas de vidrio

El vidrio es fundido en vidrierías a partir de 72% de arena cuarzosa (SiO_2), 13% de Na_2O, 10% de CaO, 2% de MgO, 1,5% de Al_2O_3 en promedio y aditivos colorantes de óxidos metálicos (Fe_2O_3, Cr_2O_3).

Las piezas brutas incandescentes son sopladas a botellas con moldes, en equipos de alta capacidad. El molde otorga a la botella su forma exterior incluyendo la boca, en tanto que el moldeado uniforme del interior, incluyendo el espesor uniforme de pared, corresponde al trabajo de la máquina. El espesor de pared debe ser inspeccionado luego del lento enfriamiento de las botellas.

5.1.1.3 Formas de botellas

Existe una cantidad increíblemente grande de formas de botellas. En Alemania se utilizó, como también en muchos otros países europeos durante décadas, únicamente la botella Euro de 0,5 l y más tarde se agregó la botella de cuello largo, la botella ale y una cantidad permanentemente creciente de formas individuales de botellas.

En la forma Euro, la parte cilíndrica de la pared de botella estaba diseñada primeramente con forma uniformemente cilíndrica (Euroform 1); aquí se producían rayaduras y deterioros en las etiquetas, que rozan directamente una contra otra. Para evitar rayadu-

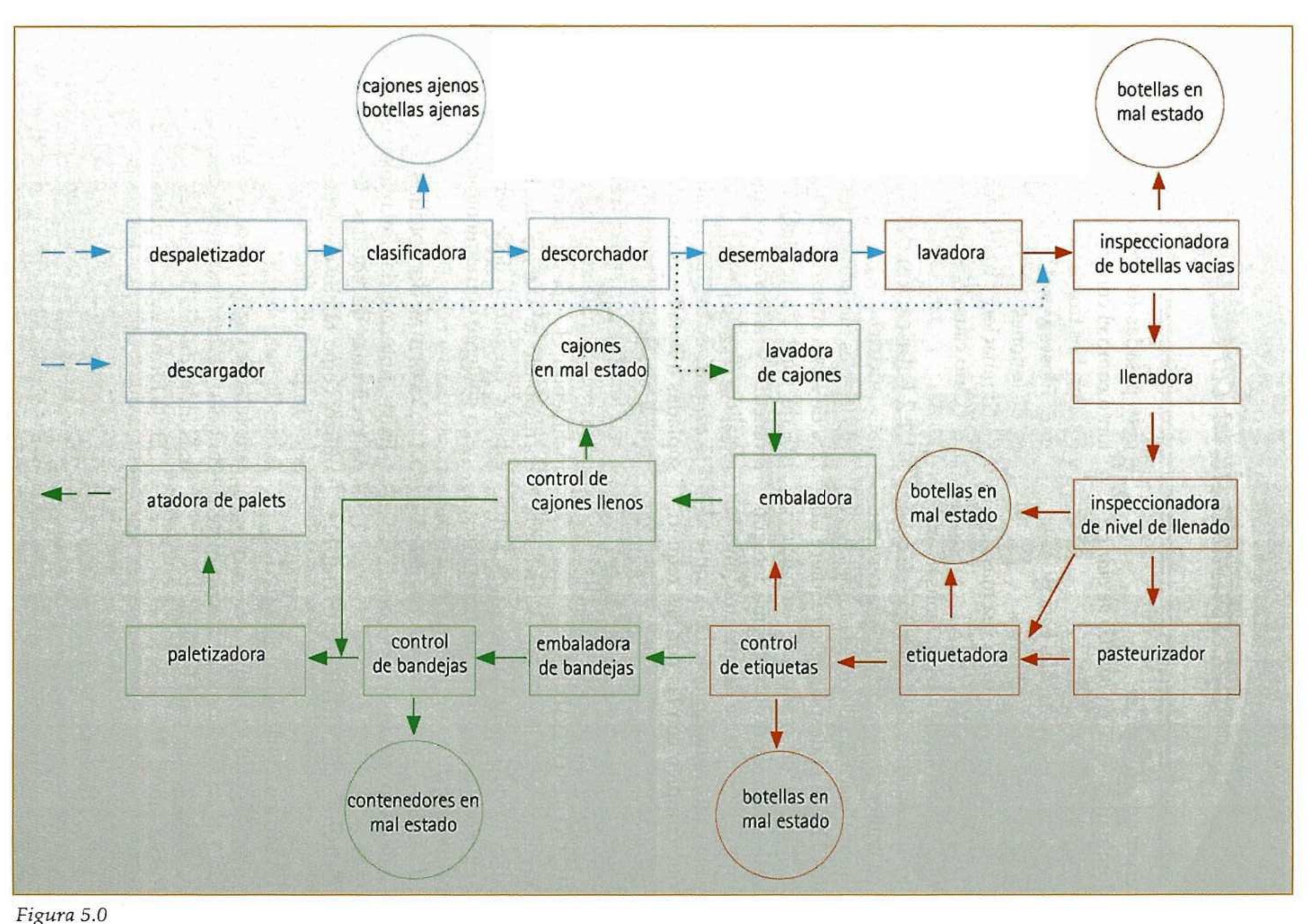


Figura 5.0
Secuencias operativas y controles en el envasado de botellas y latas

ra se introdujeron pequeños aumentos de es esor, llamados "anillos de rozamiento", en los extremos inferior y superior de la pa e cilíndrica del molde de botella (E roform 2). De esta manera se evitan dete-rio os en las etiquetas.

esde 1990 se introdujo en Alemania pro-gr ivamente la botella de 0,5 l de NRW (N W por Nordrhein-Westfalen (Renania del Norte Westfalia), el estado en que fue int oducida por primera vez) con una masa pre determinada de 380 g ± 20 g y con ambos anillos de rozamiento.

5.1.1.4 Color de la botella

El sabor de la cerveza es deteriorado particularmente por la luz de longitud de onda entre 350 y 500 nm, dado que se disocia un compuesto de mercaptano de olor desagradable aun en gran dilución, debido a una disociación de una cadena lateral del iso-α-ácido del lúpulo. Este compuesto de mercaptano propaga un desagradable sabor asoleado en la cerveza. El sabor asoleado se forma tanto más rápido cuanto más intensa y prolongadamente actúa la luz de esas longitudes de onda.

De un modo general, las botellas de color marrón son las que mejor protegen -si bien tampoco completamente- contra la formación del sabor asoleado (Figura 5.1). Si, por motivos publicitarios, se usan botellas verdes o transparentes, es necesaria una protección completa contra la luz, que debe ser mantenida hasta el consumo final. El sabor asoleado se puede formar en un tiempo asombrosamente corto y hace que disminuya sensiblemente la calidad (ver Sección 4.6.4.4).

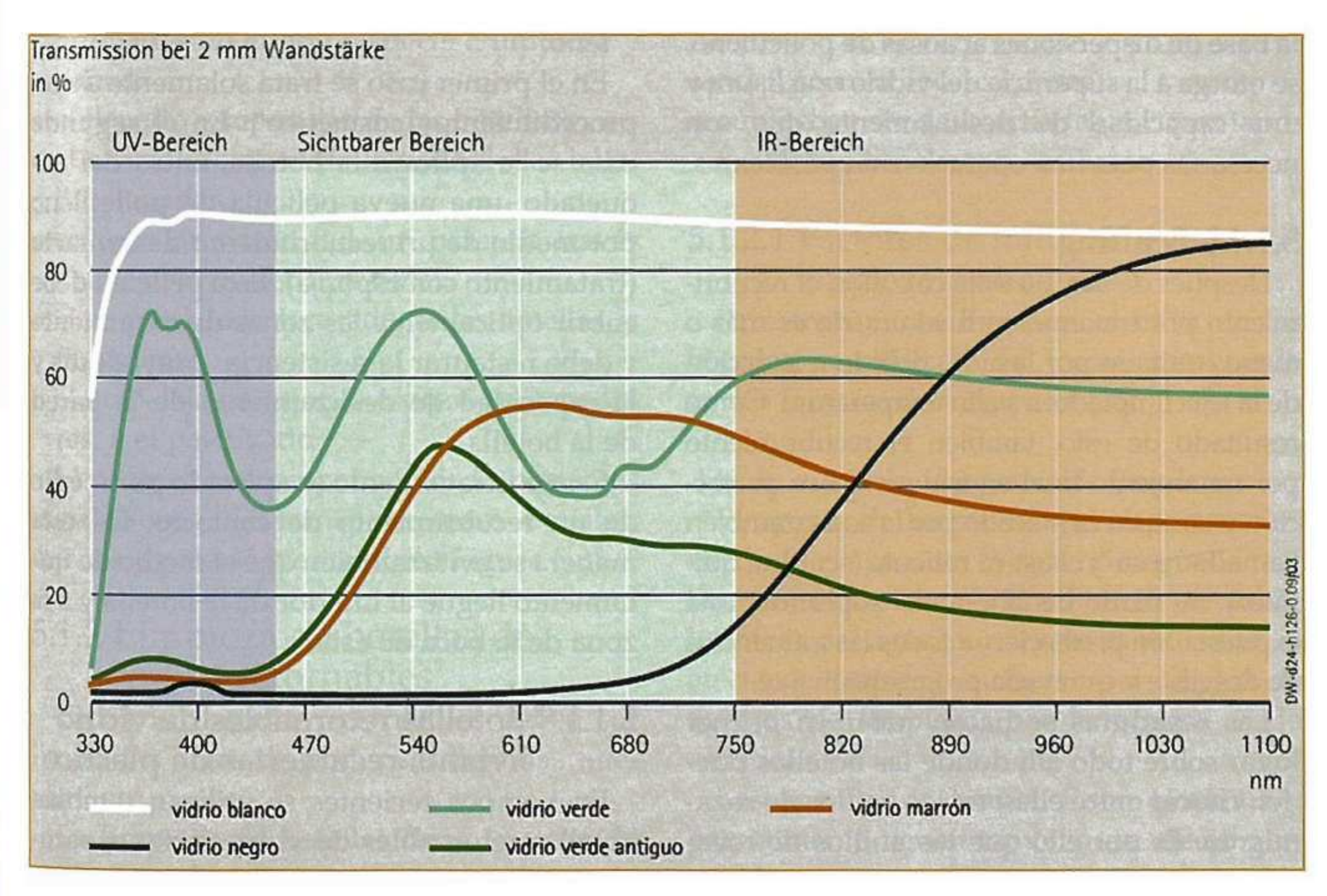


Figura 5.1
Diafanidad de rayos de luz de diferentes longitudes de onda, en dependencia del color de vidrio
(1) vidrio marrón, (2) vidrio verde, (3) vidrio transparente

5.1.1.5 Tratamiento superficial

La botella de vidrio –así como sale de la máquina sopladora– no responde a los requisitos de las altas velocidades actuales de envasado, debido a su superficie rugosa y la elevada susceptibilidad al desgaste y la rotura causada por aquella. Recién a través de un tratamiento combinado en caliente y en frío que ocurre todavía en la vidriería, la botella de vidrio adquiere su superficie lisa.

En el tratamiento final en caliente a aproximadamente 600°C se llenan las microfisuras existentes en la superficie del vidrio por medio de óxidos metálicos (SnO, TiO) y se protege la superficie del vidrio contra una formación incrementada de rajaduras durante el ulterior proceso de producción [185]. Con ello se aumenta la resistencia de la botella.

A través del recubrimiento por tratamiento final en frío a aproximadamente 100°C, sobre la base de dispersiones acuosas de polietileno, se otorga a la superficie del vidrio una lisura y una capacidad de deslizamiento que son necesarias para una operación sin problemas.

5.1.1.6 Scuffing

Después de cinco a siete circuitos, el recubrimiento por tratamiento final en frío es más o menos quitado por lavado, debido a la acción de la lejía limpiadora a alta temperatura. Como resultado de esto, también el recubrimiento por tratamiento final en frío pierde su protección y también es atacado por la soda (también llamada "sosa") cáustica caliente (scuffing químico). A partir de ahora, la superficie está expuesta, sin protección, a todas las influencias de desgaste y es rayada progresivamente.

Las rayaduras se hacen notar en primer lugar sobre todo allí donde las botellas pueden chocar entre ellas: en los anillos de rozamiento. Es por ello que los anillos de rozamiento se perciben progresivamente en forma de anillos de rayaduras cada vez más anchos. Este estado es denominado "scuffing" (scuffing mecánico).

La causa principal del scuffing es el choque y el rozamiento de las botellas entre sí en las vías de transporte dentro de la fábrica de cerveza. Las zonas particularmente críticas son aquí:

- las zonas de acumulación, de presión y de descarga,
- las cintas curvilíneas y cintas de avance, y
- la zona de alimentación de la máquina lavadora de botellas.

Para descripciones al respecto, ver Sección 5.7.1.

5.1.1.7 Postratamiento de las botellas

Es posible postratar las botellas en el camino entre la limpieza y el envasado, o luego del llenado. Se pueden emplear en esto dos procesos diferentes:

- un postratamiento con película de cera o
- un postratamiento con película de polietileno.

En el primer caso se trata solamente de un procedimiento "cosmético". En el segundo caso se le aplica a la botella, antes del etiquetado, una nueva película de polietileno por medio de un recubrimiento de contacto (tratamiento con esponja). Esta película debe cubrir ópticamente las zonas de rozamiento y debe restaurar la resistencia a rayaduras y la capacidad de deslizamiento de la pared de la botella.

Este postratamiento es aplicado por medio de un recubrimiento de contacto. De esta manera se evita también que el medio de tratamiento llegue al interior de la botella y a la zona de la boca de ésta.

5.1.1.8 Botellas retornables de vidrio liviano, recubiertas de plástico

En tiempos recientes se utilizan también botellas retornables de vidrio liviano, recubiertas de plástico, sobre todo en el envasado de aguas de pozo. La ventaja reside en que se excluye prácticamente el scuffing y la botella, si bien puede romperse, no puede

vc ar en astillas, porque el recubrimiento co tinúa manteniendo juntos los trozos de la otella.

n tiempos recientes también hay procesos pa a producir la pared del recipiente en dos ca as: aun cuando la pared exterior se dañe, la ared interior sigue permaneciendo intacta.

5.1.1.9 Pasos de proceso en el envasado de botellas de vidrio retornables

En la preparación y postratamiento para el envasado de botellas de vidrio retornables es necesaria una serie de pasos de proceso:

- la clasificación de las botellas y cajones en botellas y cajones propios y ajenos,
- el control de las botellas retornables devueltas,
- el lavado de las botellas retornables,
- la inspección de las botellas retornables limpiadas en lo que respecta a limpieza y daños,
- el llenado y taponado de las botellas,
- el control de nivel de llenado de las botellas llenadas,
- en caso de necesidad, un pasaje a través del pasteurizador tipo túnel,
- el etiquetado y decorado de las botellas, y finalmente
- el embalaje en cajones u otros contenedores, y el paletizado.

El proceso es acompañado de importantes instalaciones de transporte para botellas, cajones y paletas (ver también Figura 5.0).

5.1.2 Limpieza de botellas de vidrio retornables

Todas las botellas retornables deben ser limpiadas antes de poder ser llenadas nuevamente.

La limpieza de botellas tiene la tarea de suministrar botellas

- limpias,
- libres de gérmenes y
- libres de residuos.

Dado que las botellas vuelven a veces de los consumidores con considerables contaminaciones y formaciones de costras, la limpieza de las botellas retornables es un trabajo que demanda esfuerzo y la máquina lavadora de botellas es la más grande en la planta de envasado.

Antes de que las botellas lleguen a la limpieza de botellas, debe cuidarse primeramente de que no lleguen hasta la máquina lavadora cajones y botellas ajenos. Esto no es nada sencillo en muchas fábricas de cerveza, porque frecuentemente la porción de cajones y botellas ajenos ha crecido considerablemente y una clasificación manual ya no es posible.

La Sección 5.7.3.3 informa sobre medios y vías de manipulación de botellas ajenas, es decir, aquellas que

- no tienen la altura, forma y color correctos o
- no poseen la boca correcta, o
- aún deben ser descorchadas, o cuyos tapones deben ser desenroscados.

5.1.2.1 Factores de influencia en la limpieza de botellas

Para lograr una limpieza efectiva de las botellas se utilizan de forma combinada varios factores de influencia [165]:

Acción a través de agentes de limpieza

El agente de limpieza más importante es sin duda el agua, sin la cual no se puede realizar una limpieza de botellas. El efecto de limpieza del agua por sí solo es reducido; el efecto de limpieza aumenta por adición de agentes de limpieza; por lo general, soda cáustica.

Los agentes de limpieza son alcalinos y parcialmente tienen también un efecto germicida, en especial a altas temperaturas. Poseen un efecto desprendedor y portador de la suciedad; sobre esto se basa la eliminación de suciedad.

A la lejía limpiadora se le agregan aditivos para mejorar el efecto limpiador y reducir una formación innecesaria de espuma. Aparte de ello debe otorgarse a las botellas un aspecto de alto brillo.

5

Efecto de temperaturas de tratamiento más elevadas

Las temperaturas de tratamiento más elevadas siempre tienen un efecto acelerador sobre la disolución de suciedad. Para lograr un buen efecto de limpieza se utilizan

- temperaturas de limpieza de 80 a 85°C en botellas de vidrio retornables.

Sin embargo, las botellas no deben ser calentadas inmediatamente hasta esa temperatura, porque, si no, se forman tensiones en el vidrio y las botellas pueden romperse. Por ello deben evitarse los saltos de temperatura por encima de 30 K durante el calentamiento y 20 K durante el enfriamiento. En el caso de bajas temperaturas exteriores (formación de hielo), debe prestarse especial atención al aumento y descenso en etapas de la temperatura. Las botellas congeladas deben ser descongeladas antes de entrar a la máquina lavadora.

Tiempo de acción

Cuanto más tiempo actúe el líquido de limpieza caliente, tanto mayor será el efecto de limpieza.

El tiempo de inmersión en la lejía es en promedio 6 a 7 min y, en caso de necesidad, también considerablemente mayor. Se lo establece con la construcción de la máquina y puede ser modificado más tarde sólo entre límites reducidos.

Efecto mecánico por rociado

La disolución de las substancias de suciedad exige un tiempo suficiente de disolución y remojo. Esto se refiere también a la eliminación de las etiquetas, el adhesivo y las láminas existentes. Para ello, las máquinas lavadoras de botellas están equipadas con grandes baños de remojo.

Cuando una parte considerable de la suciedad ha sido disuelta, la limpieza es apoyada por el efecto mecánico en el rociado de enjuague. A través de los rociados de enjuague se enjuagan los agentes de limpieza de la botella.

5.1.2.2 Máquinas lavadoras de botellas

En las máquinas lavadoras se ejecutan los siguientes pasos operativos para el logro de un efecto completo de limpieza:

- evacuación de los residuos,
- prerremojo,
- baño de lejía,
- rociado de lejía,
- rociado intermedio,
- rociado de agua caliente,
- rociado de agua fría,
- rociado de agua fresca.

5.1.2.2.1 Formas constructivas de máquinas lavadoras de botellas

Existen varias posibilidades para la realización de estos pasos operativos. Básicamente se llega a utilizar dos tipos diferentes de máquinas lavadoras de botellas:

- máquinas lavadoras con entrada y salida en un extremo, y
- máquinas lavadoras con entrada y salida en sendos extremos.

Según el tamaño de toda la línea de envasado, se diseñan máquinas lavadoras de botellas para rendimientos desde menos de 10.000 hasta 100.000 botellas/hora.

Máquinas lavadoras con entrada y salida en un extremo

En la máquina usual con entrada y salida en un extremo, la carga y la descarga de botellas se encuentran del mismo lado de la máquina. Una máquina lavadora con entrada y salida en un extremo (Figura 5.2) trabaja según el siguiente principio:

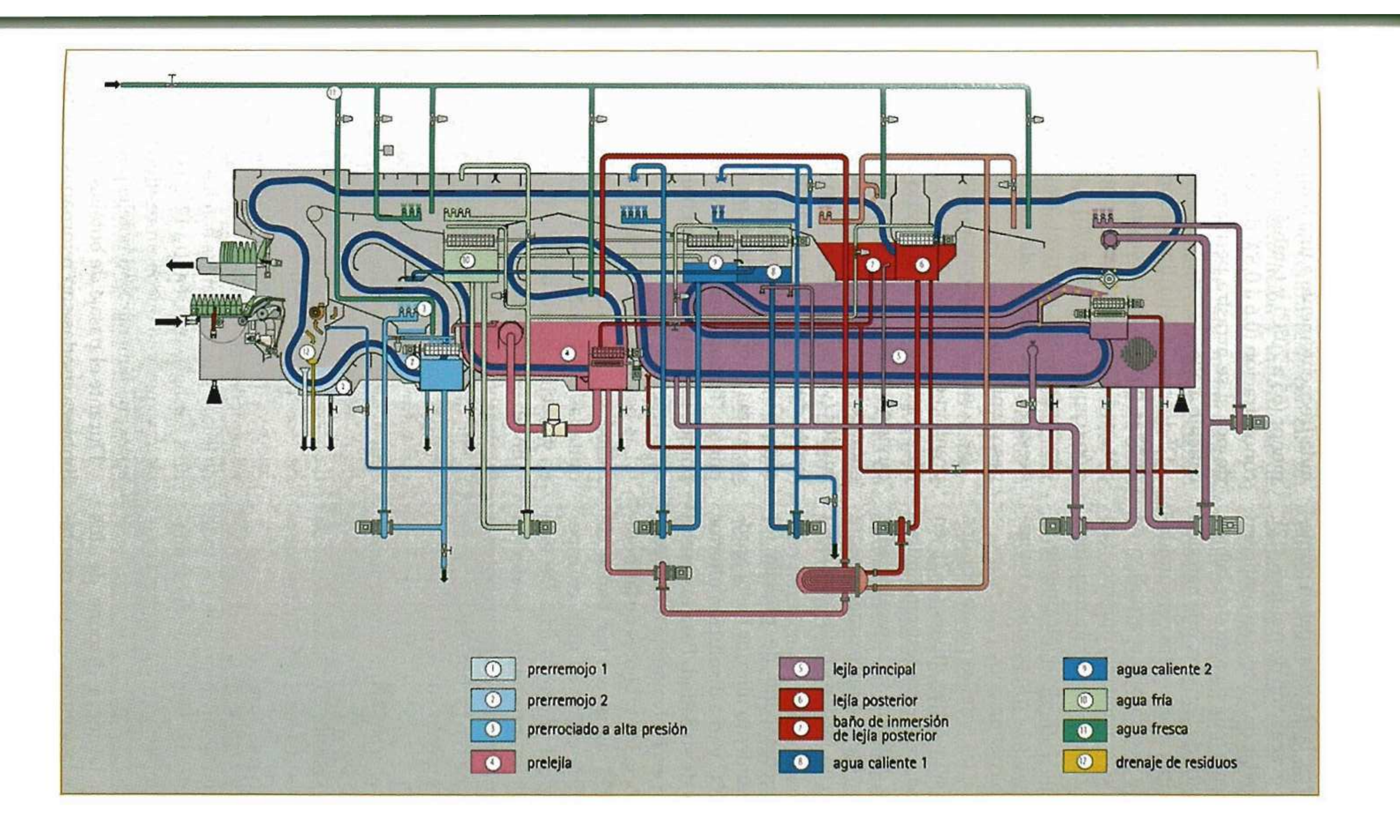


Figura 5.2
Construcción y modo de funcionamiento de una máquina lavadora con entrada y salida en un extremo
(Tipo Lavatec KES 34, Empresa Krones, Neutraubling)
(Para la aclaración de las vías de suministro dentro de la máquina, las bombas y tuberías han sido ubicadas afuera en el diagrama)

Luego de la carga, las botellas pasan primeramente por una evacuación de residuos (12). Dado que las botellas que retornan contienen muy frecuentemente todavía restos de bebida acidificados o restos de líquidos, que han sido guardados allí entretanto por los consumidores, es bueno que ocurra una evacuación de residuos antes del tratamiento interno. Los restos de bebida descargados están muy fuertemente contaminados biológicamente y deberían ser sometidos, en lo posible, a un tratamiento anaeróbico separado.

Posteriormente, las botellas pasan por dos baños de inmersión consecutivos (1+2), en los cuales se produce un predesprendimiento de la suciedad. Además son precalentadas por dentro y por fuera a aproximadamente 40°C y, luego de un giro, rociadas con agua a 40 a 50°C (3).

En el subsiguiente baño de prelejía (4) ocurre un calentamiento ulterior hasta aproximadamente 60°C y una disolución ulterior de las partículas de suciedad. Para los prelavados se utilizan exclusivamente los rebosamientos de los rociados calientes de las botellas limpiadas. El agua en los baños de inmersión se enfría cada vez más, en especial en la época del año más fría. De este modo, además de un prerremojo, se efectúa también un precalentamiento de las botellas y se evitan tensiones en las botellas de vidrio a través de un aumento suave de la temperatura.

Ocurre ahora el tratamiento más prolongado e intensivo por dentro y por fuera de las botellas en un pasaje múltiple a través de

un baño de lejía (5) para botellas de vidrio retornables

de 6 a 8 (hasta 10) min a 80°C.

En este tiempo deben desprenderse toda la suciedad y cualquier forma de contaminación. Esto rige también para las etiquetas y el adhesivo de éstas.

Si la máquina lavadora dispone de dos baños de lejía (6), la segunda lejía es mantenida frecuentemente a una temperatura algo menor (65 a 70°C) y también con una menor concentración (0,6 a 0,8% de NaOH), porque de por sí se arrastra permanentemente lejía caliente a ella.

Dado que la lejía limpiadora es enfriada por las botellas ingresantes, se la recircula por medio de una potente bomba de circulación (caudal 100 a 150 m³/h) y se la mantiene constantemente al nivel de temperatura deseado por medio de un calentador de paso continuo.

Se exige de las etiquetas que éstas se desprendan en un todo y que no se separen en fibras, porque de lo contrario aumentan la cantidad de lodo y dificultan la limpieza. Las etiquetas son extraídas por dispositivos adecuados (ver punto "Separación de etiquetas y trozos de vidrio") y tratadas de forma separada. Aun así, en el sumidero de la máquina se forma lodo, que debe ser quitado (ver punto "Tratamiento de la lejía limpiadora") porque inhibe progresivamente la efectividad de la lejía.

Las botellas llenas de lejía son invertidas, rociadas, y las etiquetas aún adheridas son quitadas por enjuague. Las botellas se vacían y la lejía retorna al baño de lejía.

En un segundo baño de lejía de inmersión (6), las botellas son poslimpiadas exteriormente una vez más. Luego son rociadas a 50 a 55°C y enfriadas así un poco. La descarga y el calor remanente del rociado de lejía son conducidos al baño de prelejía (5).

En las siguientes estaciones (8+9), las botellas son rociadas con agua a temperatura decreciente (10) –primero por dentro y por fuera y finalmente sólo por dentro– para eliminar todos los residuos de lejía y de aditivos de lejía, y para enfriar las botellas en etapas, al final con agua fresca a 10 a 12°C (11). Se puede asumir que sólo queda un residuo de gota de aproximadamente 1 ml/botella o menos.

Durante el pasaje de botellas, las aguas de limpieza usadas son retornadas a los baños

de sobrerremojo, y se contrarresta con ello un aumento de concentración y un arrastre de medios.

Se puede asumir que ningún microorganismo sobrevive el baño de lejía prolongado y caliente. Sin embargo, las botellas que salen de la máquina por la descarga de botellas sólo pueden ser consideradas libres de gérmenes, si no pueden ingresar nuevamente microorganismos al interior de la botella, a través del agua de rociado. Estudios a largo plazo muestran, sin embargo, que particularmente el agua extraída de las instalaciones de pozo propias de la empresa o el agua reutilizada como agua de reserva pueden introducir microorganismos al agua de rociado de enjuague. Estos microorganismos pueden ser tanto bacterias como también levaduras y esporas de mohos, y ya no pueden ser eliminados (si es que no se realiza una pasteurización tipo túnel). Esto puede causar problemas biológicos en la bebida terminada.

Especialmente riesgosas en esto son las piletas y tuberías de las secciones de rociado con agua caliente, las cuales, con temperaturas de 30 a 50°C, ofrecen condiciones ideales de crecimiento a los microorganismos. Es por este motivo que también deben ser limpiadas regularmente. Esto es aplicable sobre todo también a todo el espacio junto a y sobre las toberas rociadoras, el cual a esas temperaturas ofrece a los microbios la base para la formación de nidos.

Cuando los microorganismos han llegado en esta fase al interior de la botella (contaminaciones), ya no pueden ser extraídos completamente por el subsiguiente rociado con agua fresca. Frecuentemente se encuentran también depósitos porosos de incrustaciones, que sirven como focos de contaminantes.

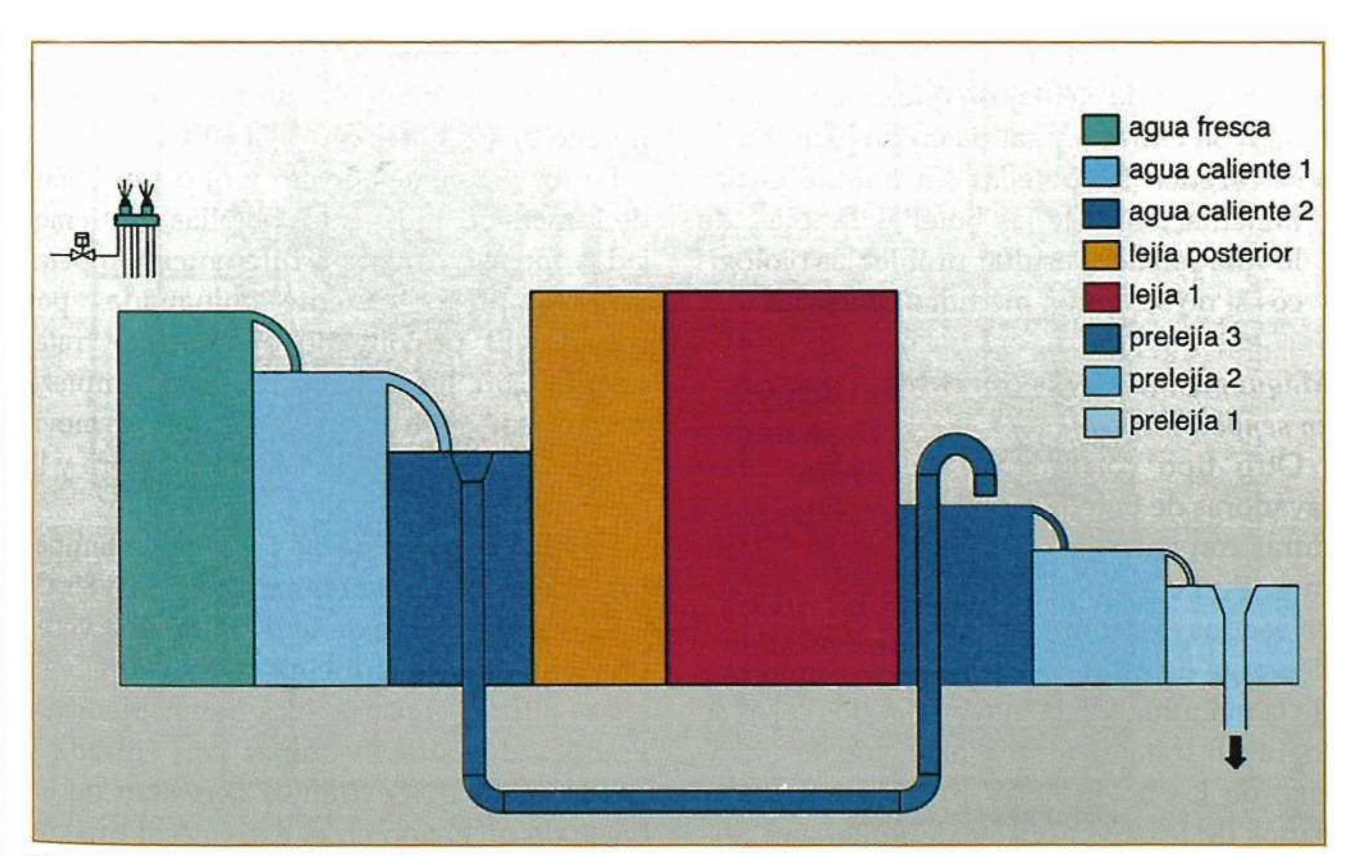


Figura 5.2a:
Pasaje de agua a través de la máquina lavadora de botellas

El agua de rociado de enjuague biológicamente impecable (caliente y fría) tiene una importancia especial. Por ello se prefiere adicionar una cantidad permitida de dióxido de cloro (ClO_2) a la última agua de rociado de enjuague para no correr ningún riesgo. Asimismo, el espacio de cabecera permanentemente húmedo y tibio encima de la máquina lavadora debe ser considerado también como un reservorio de gérmenes.

La humedad de contacto que queda en la botella desciende en el término de medio minuto a menos de 0,5 ml/botella de 0,5 l. Sin embargo, este tiempo no está disponible.

Las botellas son devueltas luego al equipo de inspección.

En Alemania son usuales las máquinas lavadoras con entrada y salida en un extremo. Poseen ventajas por:

- un buen aprovechamiento del espacio, así como base y altura de máquina reducidas,
- modo de operación económico, en especial en el caso de equipos más pequeños y
- un precio reducido.

Se considera desventajoso que en las máquinas con entrada y salida en un extremo

- se carguen las botellas sin limpiar en las inmediaciones de las botellas limpias, de lo cual pueden resultar problemas biológicos si no se toman medidas contra ello.

Máquinas lavadoras con entrada y salida en sendos extremos

Otro tipo constructivo de instalaciones lavadoras de botellas son las máquinas lavadoras con entrada y salida en sendos extremos. En las máquinas con entrada y salida en sendos extremos, la carga de botellas y la descarga de éstas ocurren en lados opuestos de la máquina. En la mayoría de los casos se logra un tratamiento uniformemente intensivo de las botellas por medio de grandes baños de lejía con bucles de inmersión dispuestos de forma vertical (Figura 5.3). Se construyen máquinas con hasta 6 bucles de inmersión en lejía; el tiempo de inmersión en lejía es en estas máquinas también 6 a 8 min y, en caso de necesidad, también considerablemente más prolongado (hasta 25 min).

Luego de la carga de botellas, éstas son movidas hacia arriba y evacuan sus residuos (1). Esta evacuación de residuos es muy importante, porque las botellas que retornan contienen frecuentemente:

- restos descompuestos de bebidas, a veces en cantidades mayores, pero también
- restos de otros líquidos, que fueron guardados en la botella. Un suministro de éstos a la primera agua de remojo implicaría una contaminación innecesaria.

Los restos altamente contaminados son conducidos directamente al tratamiento de aguas residuales.

En la máquina con entrada y salida en sendos extremos, ilustrada en Figura 5.3, se realiza primeramente una evacuación de residuos con drenaje separado (1), luego un prerrociado (3) con agua caliente y posteriormente un primer remojo en el baño de inmersión en lejía (4) y un ulterior calentamiento de las botellas a 50 a 60°C.

En los siguientes dos (5 y 6) o tres baños de inmersión en lejía, las botellas son remojadas intensivamente a diferentes temperaturas y posteriormente enjuagadas por rociado. El prolongado e intensivo tratamiento con lejía garantiza una limpieza minuciosa, que es apoyada por el movimiento constante de la lejía limpiadora y la extracción de etiqueta.

El primer baño de lejía (5) tiene la temperatura mencionada más arriba de 80 a 85°C.

El segundo baño de lejía (6) tiene a veces una temperatura reducida de 65 a 70°C.

Las alturas constructivas inevitablemente grandes de estas máquinas con entrada y salida en sendos extremos necesitan de un bucle de inversión en el extremo al final de la máquina, el cual primeramente es utilizado todavía para un baño de inmersión en

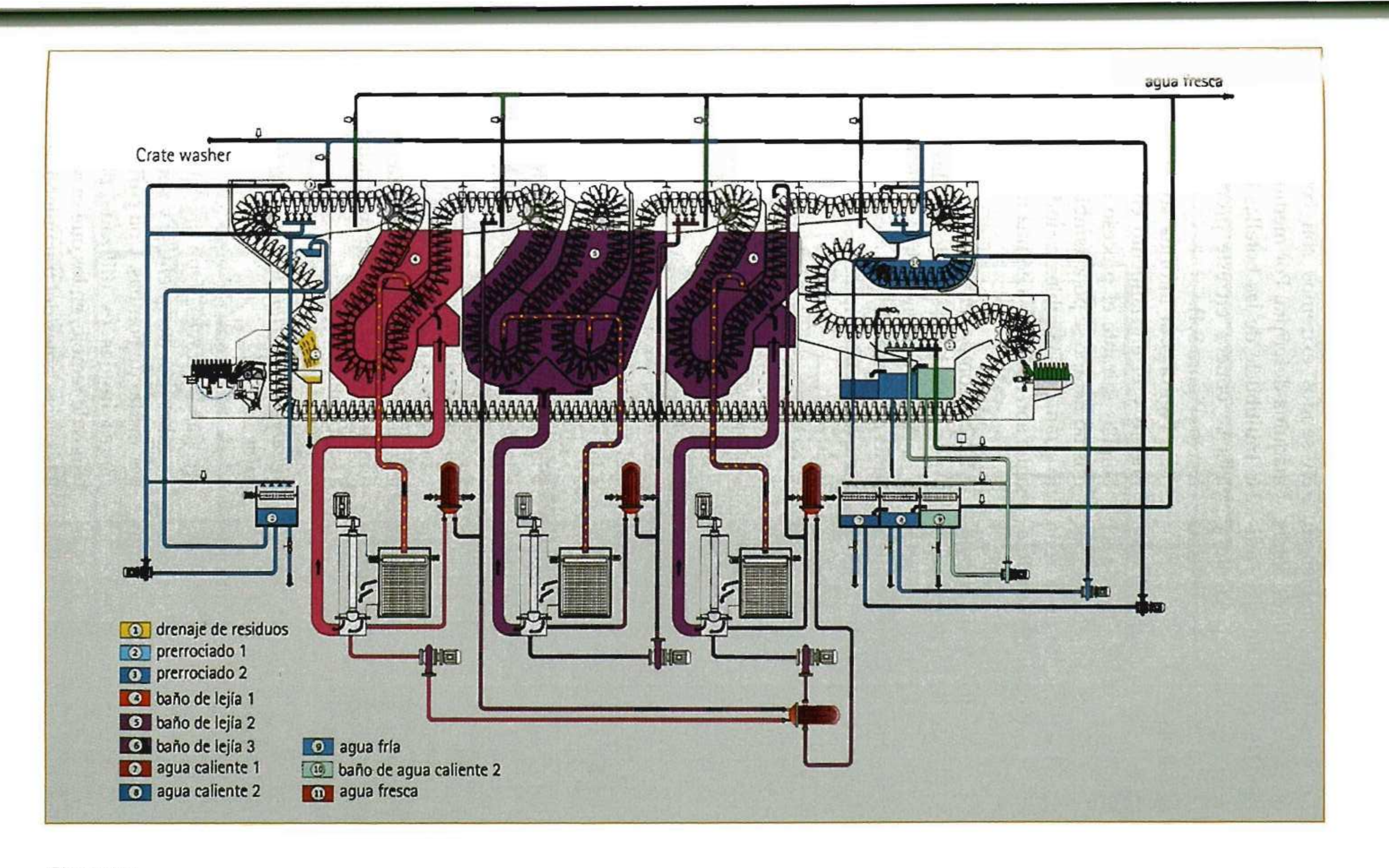


Figura 5.3
Construcción y modo de funcionamiento de una máquina lavadora con entrada y salida en sendos extremos, tipo constructivo alto y disposición vertical de bucles
(Tipo "Lavatec 682 KD-1", Empresa Krones, Neutraubling)

agua caliente (10) antes de que también en este caso sean quitados en ulteriores zonas de rociado (11) todos los restos de lejía y aditivos con agua a temperatura decreciente, y finalmente con agua fresca, y las botellas sean enfriadas en etapas.

5

La descarga de botellas es realizada lejos de la carga de botellas y también puede ser separada visiblemente desde afuera por medio de una pared separadora de la zona sucia. Esto puede ser particularmente interesante en zonas tropicales. Pero la ventaja es disminuida por la necesidad de un trabajador adicional en el lado de la descarga, el cual sin embargo ya no es requerido en las máquinas modernas. Hoy en día se requiere sólo un trabajador en el lado de la carga de botellas.

El transporte de los portadores de botellas en las máquinas con entrada y salida en sendos extremos no es realizado verticalmente, sino con una leve pendiente por dos motivos:

- una botella que se encuentra en posición horizontal no se llenaría y se formarían bolsones de aire que inhiben el efecto limpiador, y
- una botella que se encuentra en posición horizontal no puede vaciarse completamente y arrastraría innecesariamente mucha lejía.

En todas las máquinas con entrada y salida en sendos extremos, la cadena siempre retorna vacía hacia la carga de botellas por la parte inferior de la máquina.

Máquina con entrada y salida en sendos extremos de forma constructiva baja

Es posible cambiar los bucles verticales parcialmente de posición para evitar la construcción inusualmente alta de las máquinas regulares con entrada y salida en sendos extremos y lograr así una forma constructiva baja.

La construcción básica y el modo de operación de esta máquina con entrada y salida en sendos extremos son conformes a la máquina descripta. Por medio del transporte multibucle de las botellas en el baño de lejía se obtiene en este proceso el mismo efecto (Figura 5.4).

La Figura 5.4a informa sobre el calentamiento y el enfriamiento en etapas de las botellas durante el proceso de limpieza; al mismo tiempo se pone también de manifiesto cuán considerables cantidades de lejía y agua son necesarias en una máquina tal.

5.1.2.2.2 Componentes esenciales de máquinas lavadoras de botellas

Todas las máquinas lavadoras tienen una serie de componentes esenciales comunes, los que son descriptos a continuación. Éstos incluyen:

- los sistemas para la distribución y recuperación de calor en la máquina,
- el transporte de botellas a través de la máquina,
- la carga y la descarga de botellas,
- el rociado de las botellas,
- el accionamiento de la máquina,
- la extracción de etiquetas y trozos de vidrio,
- la aspiración de vahos y gas hidrógeno,
- la desinfección de la parte de la cabeza, así como
- el control de la máquina.

Debe prestarse particular atención a la lejía limpiadora en las máquinas, al mantenimiento permanente de su concentración y a su tratamiento.

Sistema de distribución y recuperación de calor

Las descargas de agua de rociado son recogidas a través de un importante sistema de tuberías y recipientes, y son retornadas por medio de bombas. Una parte de las descargas usadas es utilizada para calentar baños de remojo, en los que se remojan botellas sucias, antes del tratamiento en la lejía.

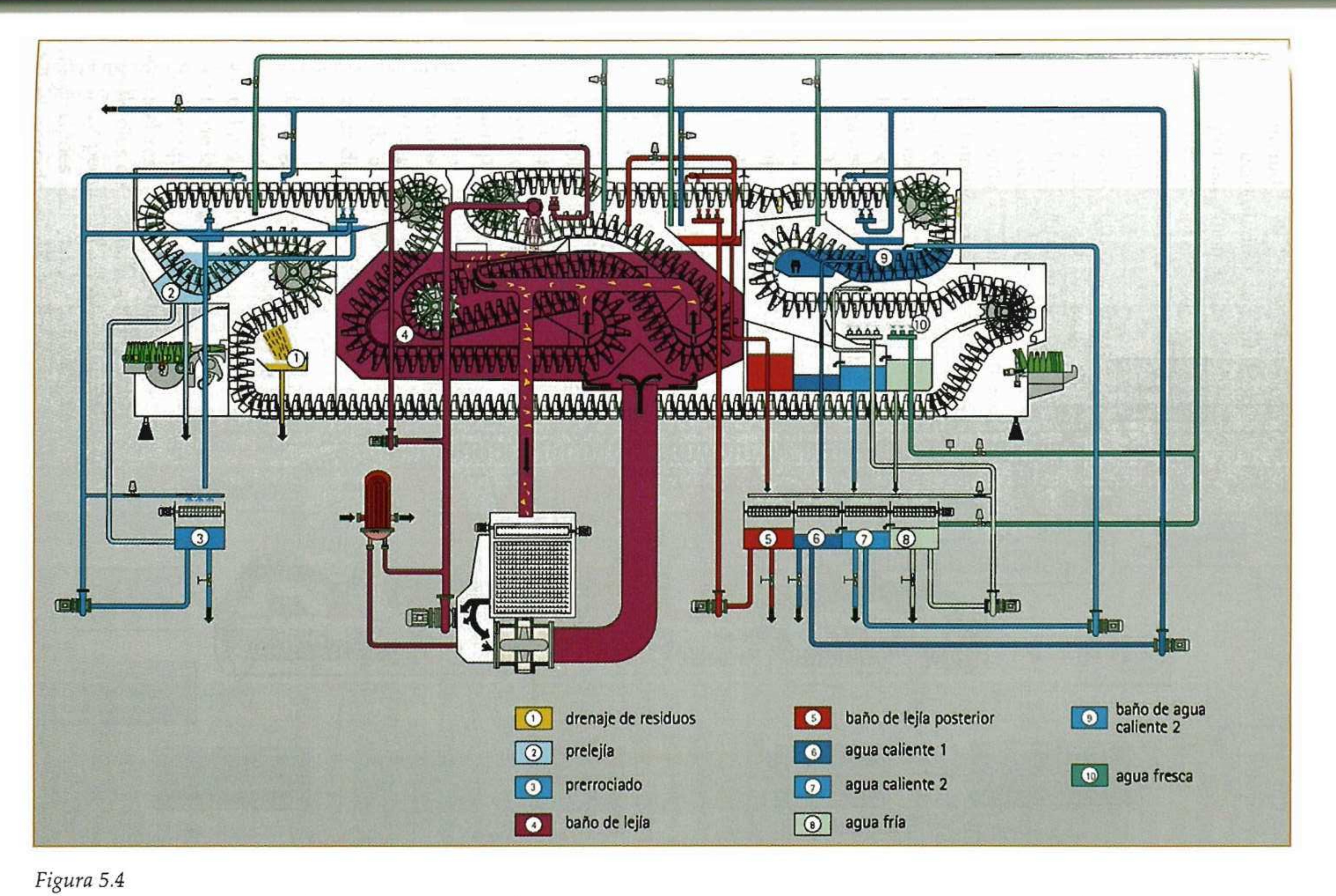


Figura 5.4
Construcción y modo de operación de una máquina lavadora con entrada y salida en sendos extremos, forma constructiva baja (Tipo "Lavatec KD-2-9...3,4", Empresa Krones, Neutraubling)

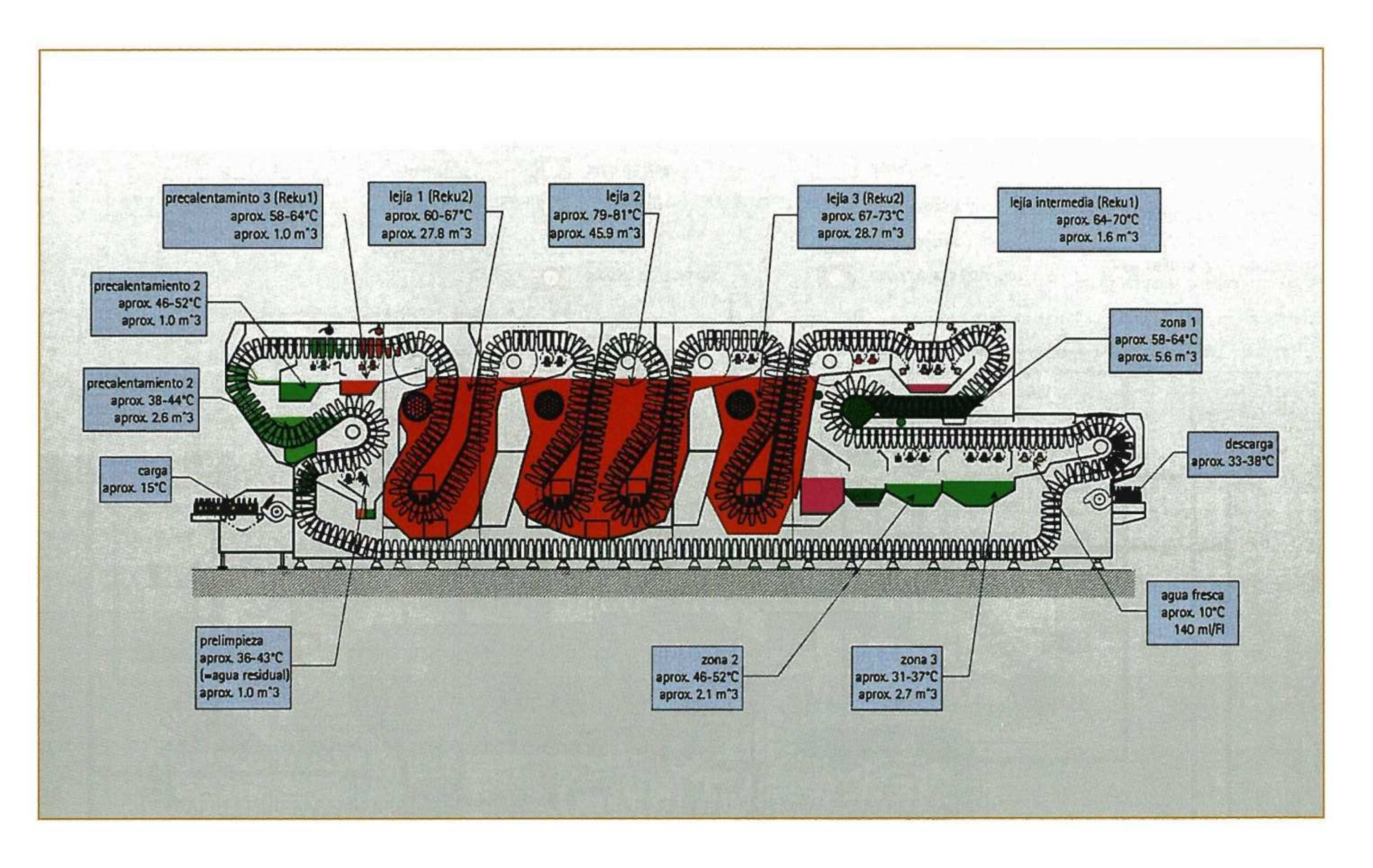


Figura 5.4a
Acción del calor y consumo de agua en una máquina lavadora de botellas
(Tipo "Innoclean DM 52/87", KHS, Dortmund)

Los contenidos de los baños de lejía también son recirculados constantemente de forma vigorosa por bombas de circulación con caudales de 100 a 150 m^3/h y son mantenidos a la temperatura deseada por medio de un calentador.

Pero también es frecuentemente necesario reutilizar la descarga de agua de rociado porque no hay contaminación presente. Sin embargo, si ocurre un calentamiento permanente por parte del baño de lejía precedente, se debe también ceder calor. Esto último puede ser realizado de modo tal que el calor excedente es transmitido desde la zona de rociado de lejía al baño de inmersión de prelejía a través de un intercambiador de calor de placas. Dado que en las estaciones subsiguientes ocurre un rociado de enjuague con agua a temperatura decreciente, se puede reutilizar aquí la lejía descargada.

Transporte de botellas

Las botellas son transportadas en fila, a través de la máquina, en portadores de alvéolos de botellas. Este avance de los portadores de alvéolos de botellas se realiza:

- por ciclos, de un cabezal rociador al siguiente o –en máquinas de mayor tamaño– siempre
- de forma continua.

En ambos casos se habla de duración de ciclo. Esto es el tiempo para:

- pasar de una estación a la siguiente,
- la carga de botellas de una fila, como también
- la descarga de botellas de una fila.

Su duración es por lo general aproximadamente 3 a 4 segundos y determina el rendimiento de la máquina lavadora de botellas.

Una máquina lavadora de botellas posee, según el rendimiento, 200 a 600 portadores de alvéolos de botellas con 16 (en instalaciones muy pequeñas) y hasta 40 botellas (en instalaciones de mayor tamaño) por fila. Estos portadores de alvéolos de botellas están construidos de forma robusta en acero y diseñados de forma tal que no se flexionan siquiera en las zonas de:

- carga y descarga,
- rociado y
- desprendimiento de etiquetas.

En estos portadores de alvéolos de botellas se encuentran fijados los alvéolos construidos en plástico o combinación de plástico y acero (Figura 5.5), en los cuales se transportan las botellas. Esto es necesario por el hecho de que, en caso contrario, las botellas rozarían con el metal duro de los portadores de alvéolos de botellas, por lo cual las botellas podrían sufrir daños. Además, las botellas se autocentran en estos alvéolos, lo que es muy importante para el rociado de enjuague.

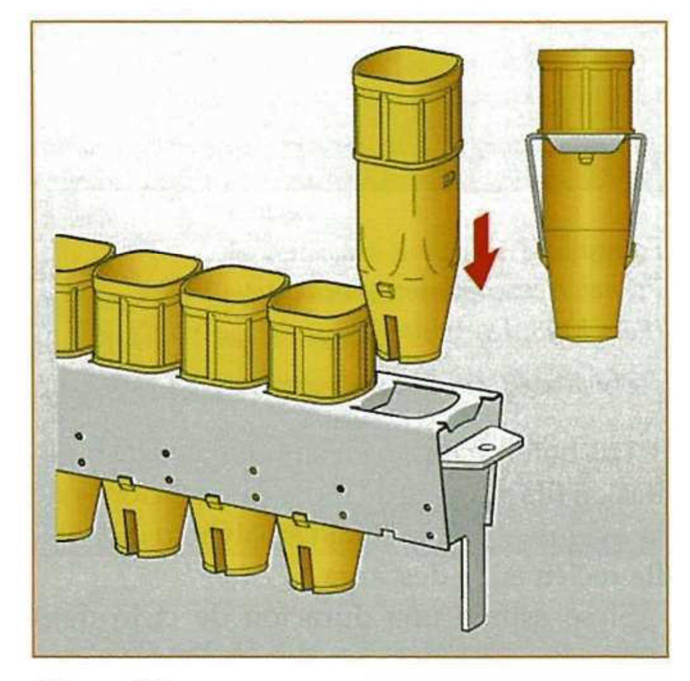


Figura 5.5
Portador de alvéolo de botellas con alvéolo insertables de plástico

Los portadores de alvéolos de botellas y los alvéolos de botellas son calentados y enfriados nuevamente en cada circuito. La diferencia de temperatura en los alvéolos de plástico es reducida, pero los portadores metálicos experimentan permanentes varia-

ciones de temperatura entre aproximadamente 30 y 80°C. Esto cuesta energía. Debido a ello se realizan esfuerzos por diseñar estos portadores de alvéolos de botellas con formas económicas (Figura 5.5a).

5

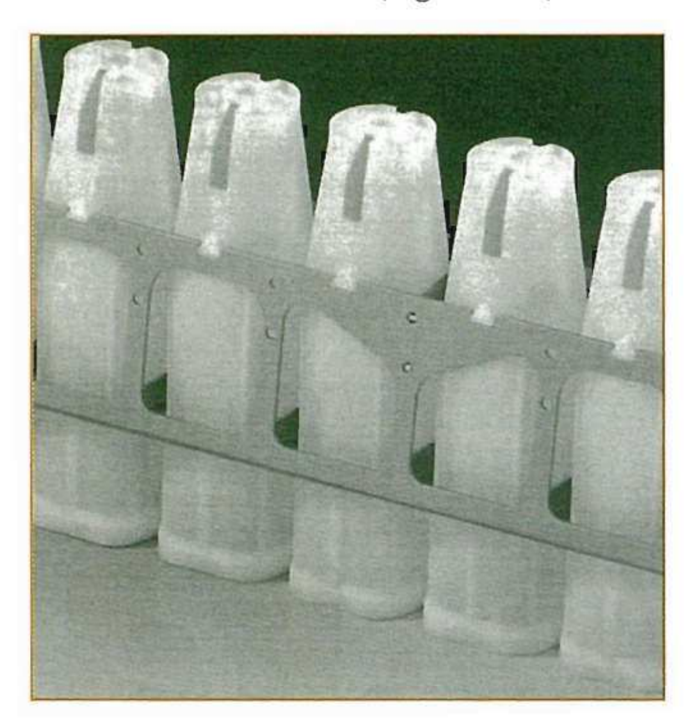


Figura 5.5a
Portador economizador de energía
(Foto KHS, Dortmund)

Las botellas pasan en sus alvéolos de botellas en fila a través de todas las estaciones de la máquina y abandonan su alvéolo de botella recién en la descarga.

Si se asume una duración de ciclo de 4 segundos, entonces se deben limpiar, con una botella por fila,

3600 s/h : 4 s/botella = 900 botellas/h.

Según esto, se necesita, por ejemplo, para un rendimiento horario de:

30000 botellas/h = 30000 : 900 = como mínimo, 33 botellas/portador de alvéolos

50000 botellas/h = 50000 : 900 = como mínimo 55 botellas/portador de alvéolos.

La duración de ciclo puede ser ajustada y depende del tamaño de botella. Básicamente rige:

cuanto más grande es la botella, más lento es el ciclo de la máquina.

En caso contrario es de esperar un mayor arrastre de la cantidad de lejía.

Carga y descarga de botellas

La carga de botellas es realizada por un sistema combinado de desarrollos de movimientos rotatorios y oscilantes (Figura 5.6). Las botellas acumuladas son volcadas en fila levemente de forma cuidadosa e introducidas, por medio de un transportador rotatorio, en los alvéolos de botellas, que se encuentran en posición horizontal.

La descarga de botellas es realizada, luego de la limpieza, de la misma manera a través de un transportador de rotación lenta (Figura 5.7), que coloca las botellas, sin que caigan, sobre el transportador de descarga, el cual posteriormente las descarga. Es importante en esto la descarga sin caídas con alta seguridad operacional y minimización de ruidos.

Luego de los baños de remojo limpiadores, las botellas atraviesan en todas las máquinas zonas de rociado, en las que el interior de la botella es rociado a temperaturas decrecientes para extraer completamente todos los restos de lejía y otros componentes.

Aparte de ello se trata de cubrir también las paredes y el fondo de la botella con su borde, que está especialmente en peligro. Esto ocurre por medio de un potente chorro de rociado.

Pero el rociado de enjuague está asociado a algunas premisas y exigencias básicas:

- La boca de botella tiene un reducido diámetro interior, el cual mide en la mayoría de los tipos de botella sólo aproximadamente 16 mm; esto limita la cantidad de rociado.
- Si se quiere lograr una limpieza interior confiable, se debe dirigir un potente cho-

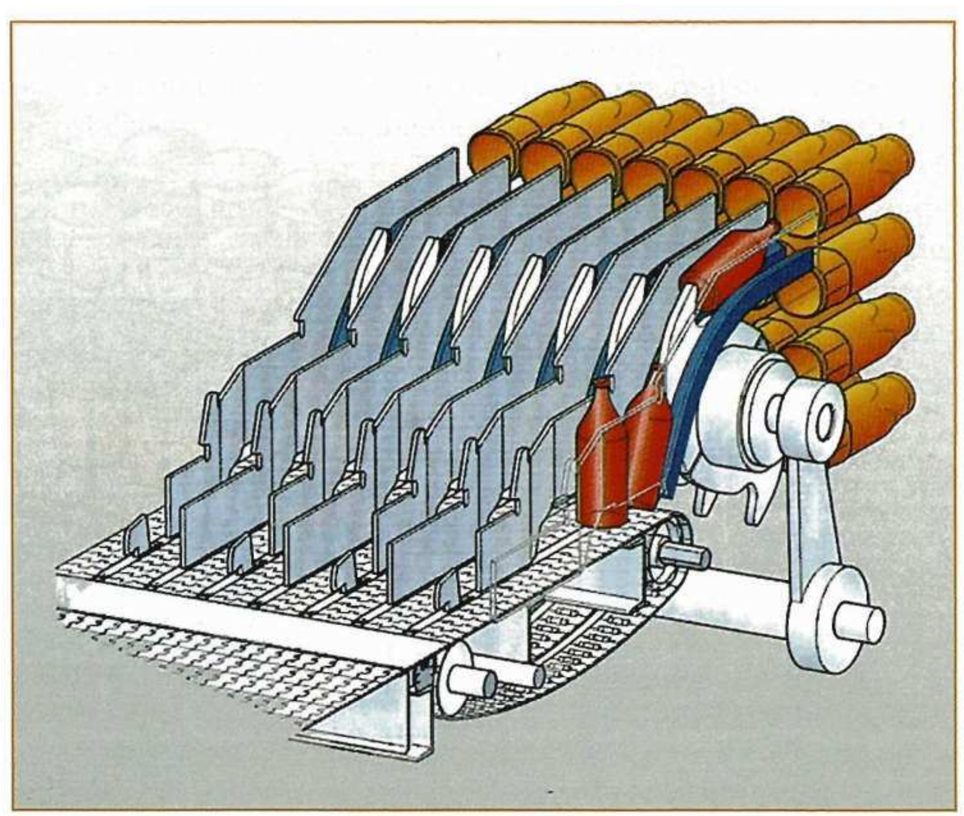


Figura 5.6
Carga de botellas

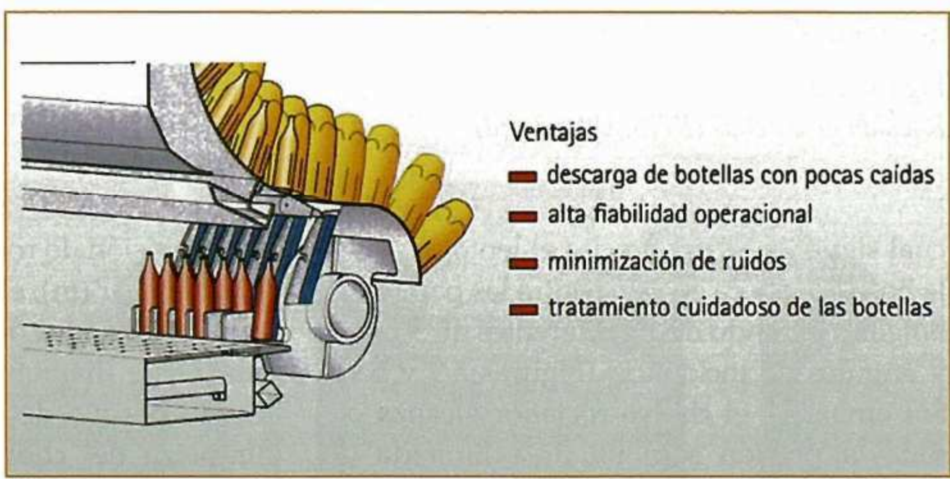


Figura 5.7
Descarga de botellas

rro contra las diferentes partes del fondo de la botella. Pero esto no es totalmente posible, dado que el borde del fondo de la botella es redondeado y el chorro de rociado sólo puede ser dirigido de forma recta.

- El caudal a introducir en la botella debe ser calculado de manera tal que la botella no borbotee en la zona de la boca si ingresa por rociado más líquido del que puede fluir hacia afuera. En caso contrario, el agua de rociado de enjuague saliente obstaculiza el chorro rociador, de manera que éste no puede llegar a ser totalmente efectivo.

Aun a pesar de las restricciones, el rociado de enjuague tiene una gran importancia y apoya de forma efectiva el efecto limpiador de los baños de remojo.

La ejecución es realizada de manera tal que un árbol giratorio de toberas es movido de forma sincrónica con cada fila de botellas (Figura 5.8).

El árbol de toberas tiene perforaciones para permitir el pasaje del chorro de rociado, el

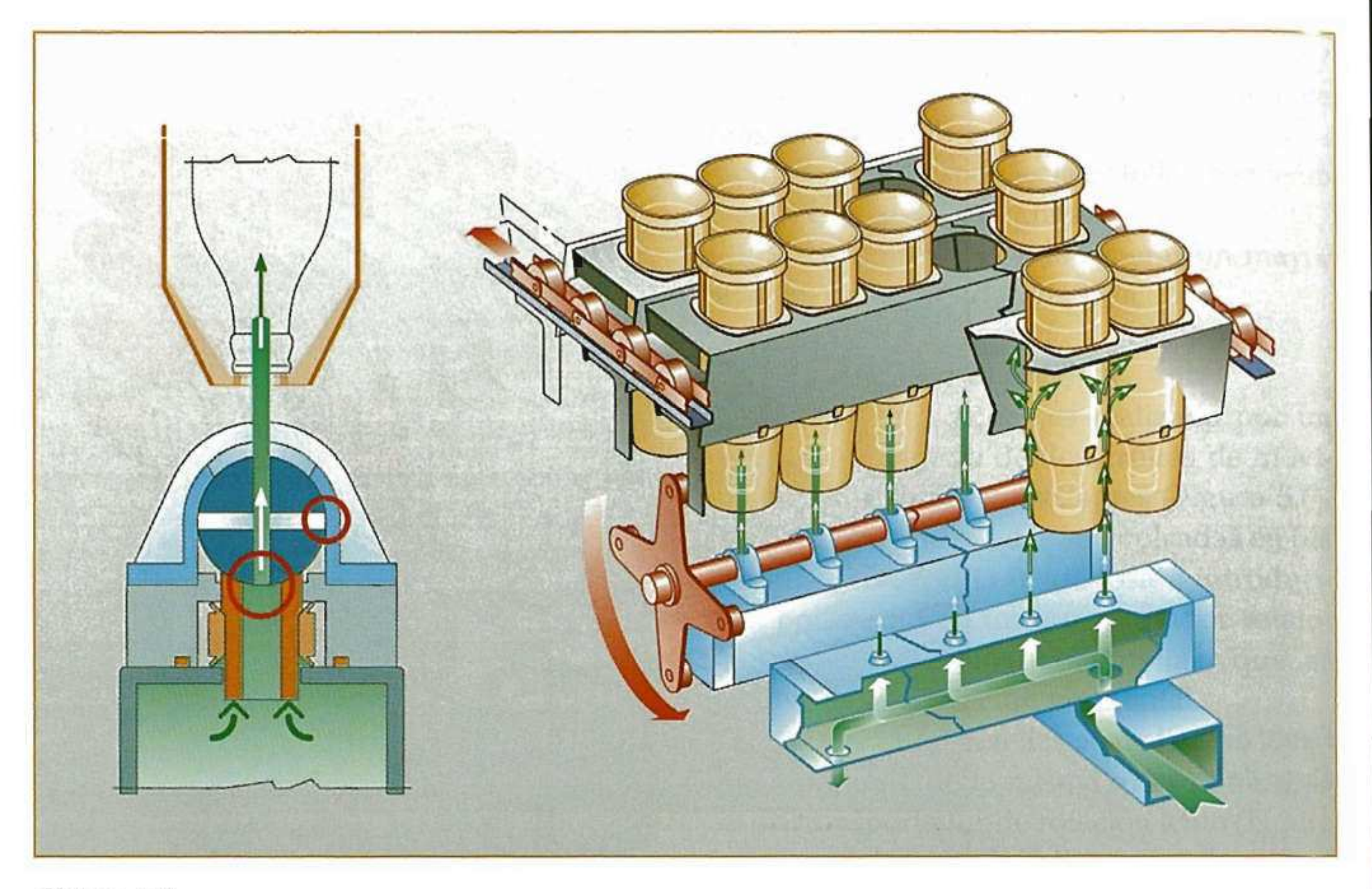


Figura 5.8
Rociado de botellas (KHS, Dortmund)

cual sigue de forma precisa el lento pasaje de la botella y choca en esto contra las paredes de botella y el fondo desde diferentes direcciones y ángulos de incidencia (Figuras 5.9 y 5.9a). Sin embargo, el chorro rociador alcanza con toda la presión sólo un área limitada del fondo de botella, siendo luego roto y, a partir de esto, sólo tiene una función de enjuague. Sólo a través de inmersión y rociado repetidos, tal como en las máquinas multibaños con entrada y salida en sendos extremos, se puede intensificar el efecto mecánico del enjuague.

Las toberas están ubicadas en el árbol giratorio, desplazadas en 90° sin desplazamiento axial. Por rotación del árbol de toberas en el mismo sentido, el líquido pasa a través de las toberas con dirección constantemente cambiante y las limpia con ello permanentemente para que no puedan depositarse restos de etiquetas.

La presión de rociado es aproximadamente 2,0 a 2,5 bar (m); el diámetro de orificio, en el caso de rociado continuo, varía entre 2,0 y 4,0 mm. Este diámetro de orificio debe mantenerse, porque de esto depende el efecto de limpieza del chorro rociador. El chorro de limpieza debe ser dirigido de manera tal que aun así el agua pueda fluir bien fuera de la botella; en caso contrario se produce un borboteo dentro de la botella y el efecto de limpieza es reducido. De manera ventajosa se trabaja por ello con rociado por intervalos, dado que así está mejor asegurado el drenaje.

Pero a las altas temperaturas en la máquina lavadora de botellas ya comienza la descarbonatación del agua, la cual finalmente conduce a la obstrucción de las toberas si ello no es contrarrestado. Por ello se le adiciona a la lejía limpiadora un agente inhibidor de formación de incrustaciones, que

debe inhibir el depósito de incrustaciones en las toberas y en las botellas –así como en todas las demás partes de la instalación–.

A los efectos de evitar una transmisión de contaminaciones, se le adiciona frecuentemente al agua fría de rociado de enjuague una cantidad permitida de dióxido de cloro (<0,4 mg de ClO_2/l). El equipo de dióxido de cloro debe ser instalado fuera de la máquina lavadora de botellas.

Accionamiento de máquina

Los portadores de alvéolos de botellas son movidos lenta y continuadamente a través de la máquina por medio de un motor de freno trifásico con regulador electrónico de frecuencia o variador mecánico de velocidad. Las estaciones de accionamiento son impulsadas de forma sincrónica a través de árboles articulados y engranajes de tornillo sinfín de acople sobre eje.

En las máquinas de mayor tamaño, el accionamiento es realizado en cada estación por medio de un motorreductor separado, el cual es sincronizado a través de un convertidor central de frecuencia a los efectos de lograr un sincronismo de todos los elementos de accionamiento y controlar el consumo de corriente de cada motorreductor. Las estaciones de accionamiento están ubicadas siempre en la parte más alta de las curvas, porque allí se apoya totalmente la carga de las cadenas (Figura 5.9b). Si se impulsaran los pesados portadores de alvéolos de botellas sólo de un lado, éstos podrían bloquearse y deformarse muy rápidamente. Para evitar esto, las ruedas dentadas de cadena enfrentadas de las estaciones de accionamiento se encuentran unidas entre sí por medio de ejes huecos, resistentes a la tor-

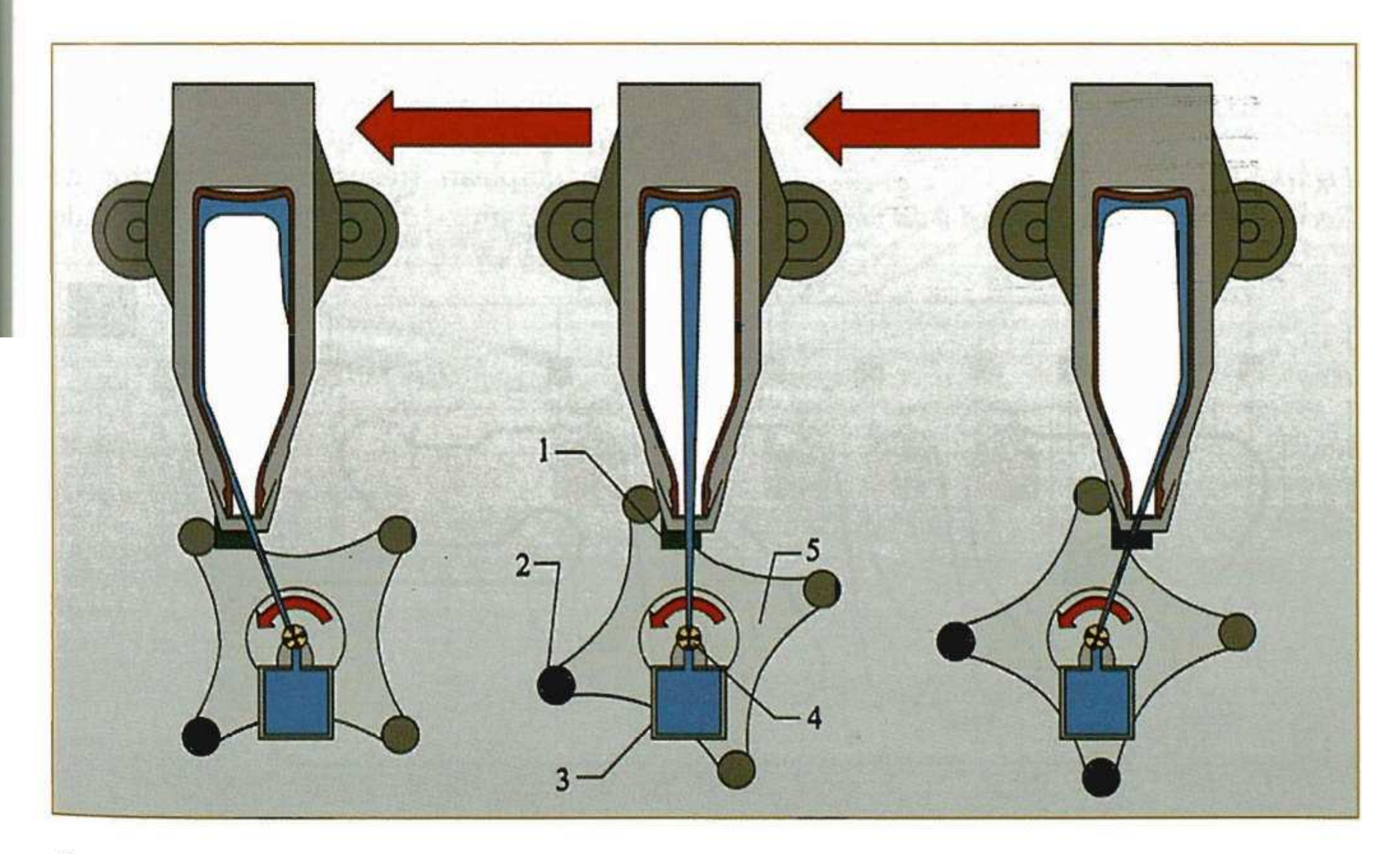


Figura 5.9
Rociado con árboles de toberas giratorios
(1) arrastrador, (2) levas, (3) tubo distribuidor, (4) árbol rociador, (5) disco de accionamiento

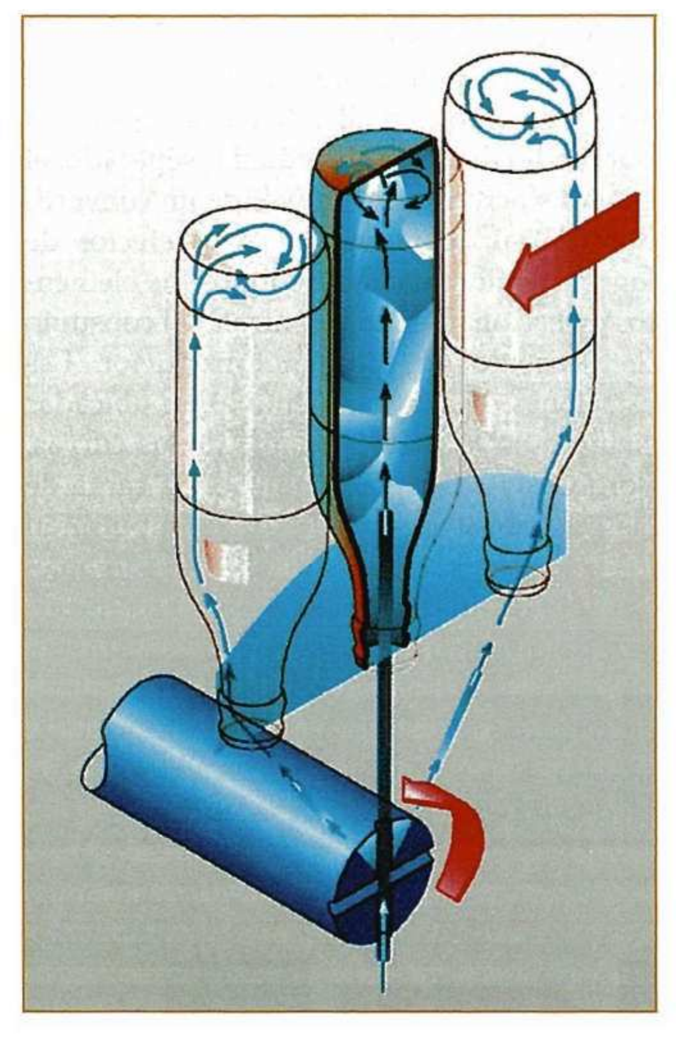


Figura 5.9a
Rociado de enjuague de la pared y del fondo

sión, que son accionados de forma central (Figura 5.10). Al mismo tiempo se protege la lejía limpiadora de la grasa de los cojinetes, y a éstos de la lejía, por medio de cámaras de derrame en las estaciones de accionamiento.

Los portadores de alvéolos de botellas están unidos entre sí por eslabones terminales.

Extracción de etiquetas

En el baño caliente de lejía se desprenden todas las etiquetas y láminas. Este desprendimiento debe ocurrir de una pieza y las etiquetas no deben separarse en fibras. Sin embargo, cuanto más tiempo permanecen las etiquetas en el baño caliente de lejía, tanto mayor es el riesgo de que se separen en fibras y se desintegren (se transformen en pulpa). Por ello es conveniente extraer las etiquetas los más rápidamente posible.

La precondición básica para ello es una intensa circulación de lejía por medio de una bomba bien dimensionada, que arrastre las etiquetas desprendidas y las separe a través de un tamiz insertable (Figura 5.11). En el caso de máquinas lavadoras de mayor tamaño, se emplean frecuentemente filtros de banda de tamiz de plástico o de tejido de

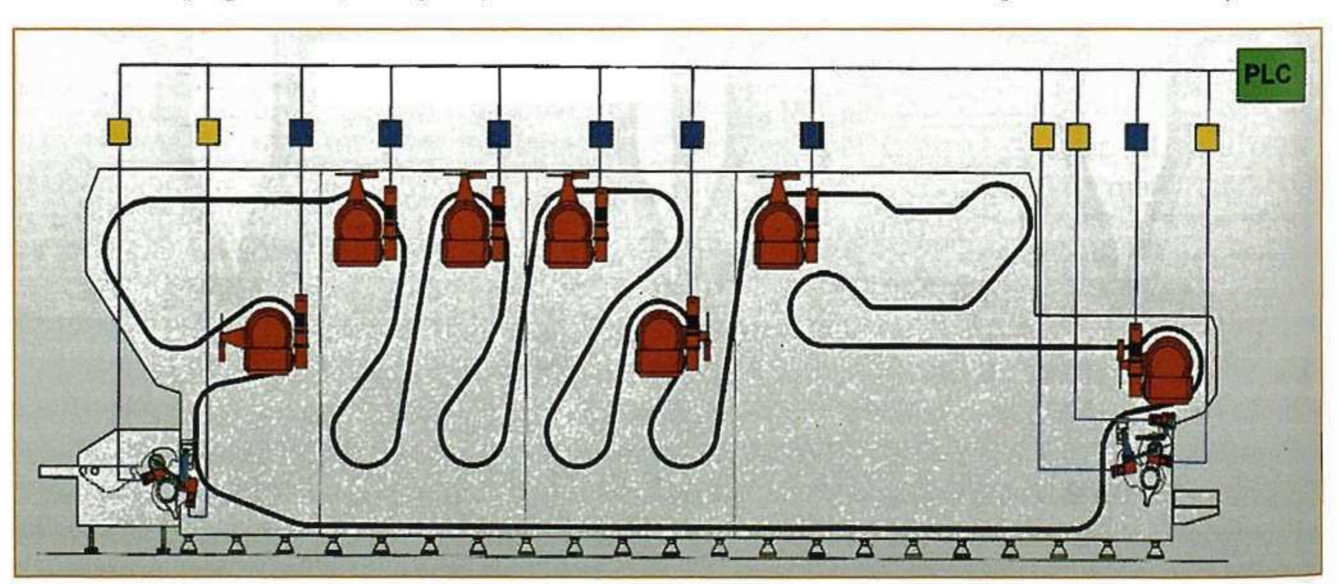


Figura 5.9b :
Estaciones de accionamiento de los portadores de alvéolos de botellas
(azul) convertidor de frecuencia, (amarillo) servocontrolador, (rojo) motorreductores

alambre de acero inoxidable (Figura 5.12), los cuales posibilitan una extracción continua.

En las máquinas con entrada y salida en serie los extremos se utilizan bombas de hélice de gran caudal de circulación (hasta 3000 m^3/h).

Las etiquetas extraídas aun contienen mucha lejía, que puede ser recuperada. Además, las etiquetas mojadas no pueden ser eliminadas para desecho. Es por ello que las etiquetas mojadas son tratadas en una prensa de etiquetas externa, adicional, que se encuentra posicionada debajo de la descarga de etiquetas.

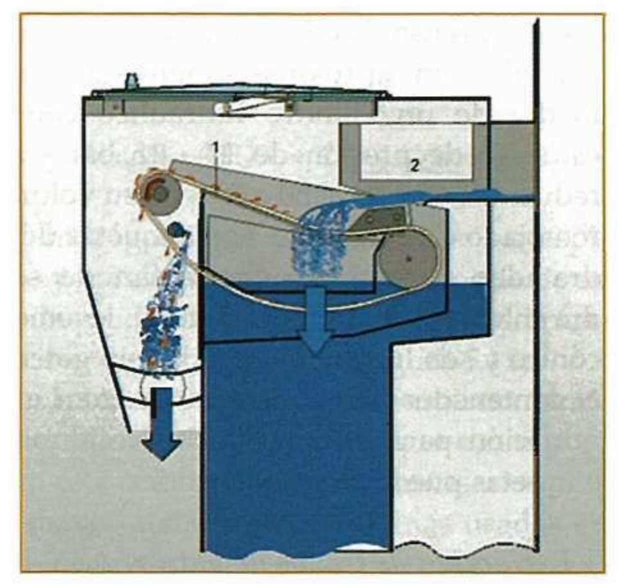


Figura 5.11
Extracción de etiquetas por medio de un transportador de banda de tamiz
(1) transportador de banda de tamiz, (2) vertedero

Figura 5.10
Ruedas dentadas de cadena de la estación de accionamiento

En la prensa de etiquetas, éstas son deshidratadas en aproximadamente 80% por medio de un cilindro hidráulico con un esfuerzo de presión de 12 - 15 bar y son reducidas en esto al 50 a 75% de su volumen remojado (Figura 5.13). Las etiquetas deshidratadas a presión se terminan de secar durante la subida por el tubo levemente cónico y son luego descargadas sin goteo en el contenedor dispuesto a tal efecto. La eliminación para desecho de los residuos de etiquetas puede ser problemática.

Extracción de trozos de vidrio

Siempre es posible que algunas botellas de vidrio revienten antes o durante el tratamiento y que los trozos de vidrio se acumulen en la zona inferior de la máquina. Dado que los trozos de vidrio son muy duros y que también se pueden producir daños por atascamiento en las máquinas, algunas máquinas lavadoras de botellas tienen un dispositivo, en el cual las botellas de vidrio son conducidas sobre un enrejado de malla relativamente grande. Los trozos de botella caen a través de las varillas del enrejado y son extraídos separadamente.

Aspiración de vahos

En la parte de cabeza de las máquinas tiene lugar un enfriamiento. Al caer la temperatura por debajo del punto de rocío, pre-

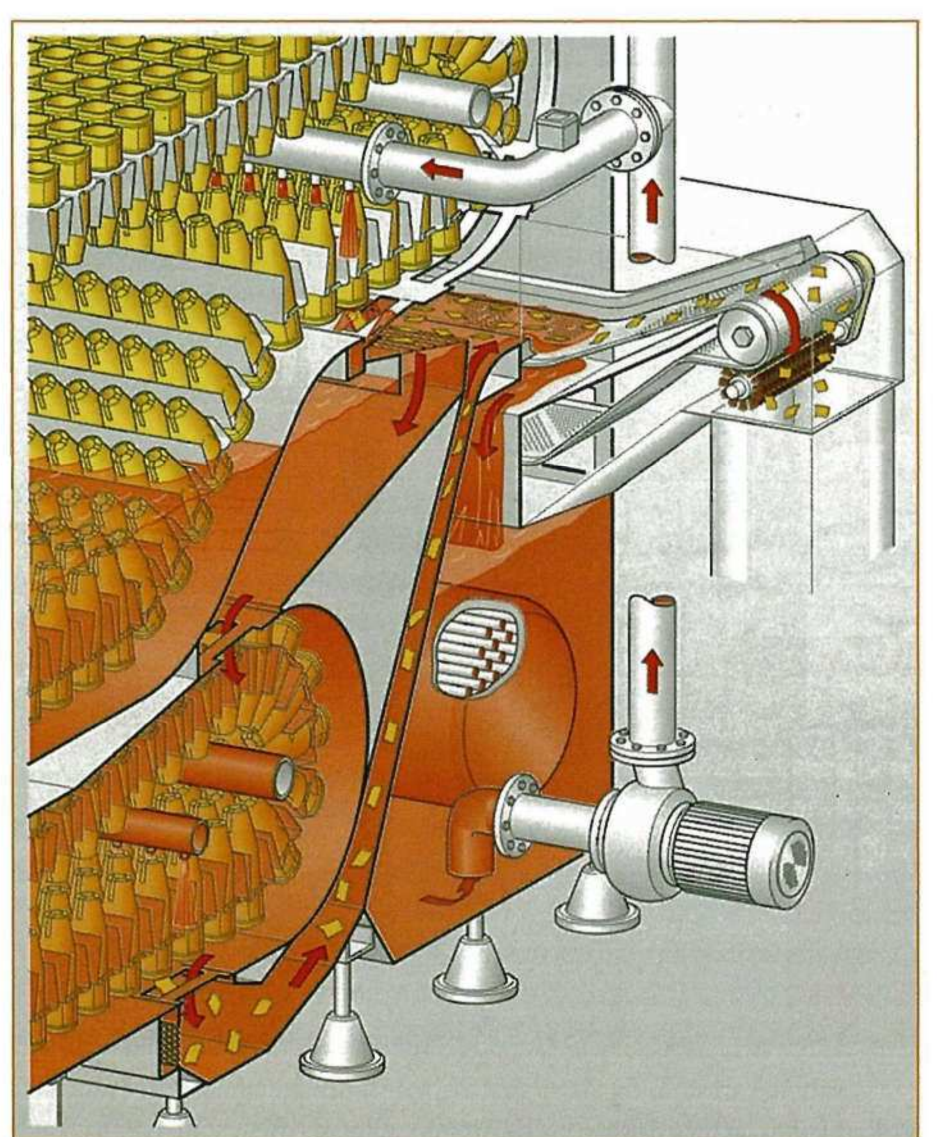


Figura 5.12
Extracción de etiquetas por medio de transportador de banda de tamiz y conducción dirigida de flujo

cipitan los vahos de la máquina lavadora y pueden gotear sobre las botellas limpiadas, como agua de goteo y condensación. Podrían así producirse contaminaciones, que pueden ser prevenidas por medio de una aspiración de vapores en la descarga de botellas (Figura 5.14). Se pueden prevenir superficies exteriores frías por medio de un calentamiento de las superficies críticas de la máquina.

Aspiración de hidrógeno

Cuando llegan muchas botellas con lámina de aluminio a la máquina lavadora de botellas para ser limpiadas, puede producirse la formación de gas detonante, seguida de deflagraciones o bien de explosiones.

Dado que el aluminio tiene un carácter anfótero, es decir que puede reaccionar como un metal o como un no metal, se produce con soda cáustica la formación de aluminato sódico y se libera hidrógeno. Con el oxígeno del aire, esto puede llevar a la formación de gas detonante:

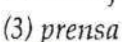
$$2\,Al + 6\,NaOH + 6\,H_2O \rightarrow 2\,Na_3[Al(OH)_6] + 3\,H_2.$$

El hidrógeno que se forma debe ser aspirado y conducido al exterior para que no se pueda producir en la máquina la temida formación de gas detonante (Figura 5.15).

En muchos países ya no se utilizan láminas de aluminio, de manera que con ello se evita este peligro. Es por ello necesario prestar mayor atención a las láminas usadas en el respectivo país.

Desinfección del espacio de cabeza

Aparte de ello también es posible incorporar un dispositivo para la limpieza y desinfección de toda la parte problemática de la cabeza y lograr con ello una desinfección efectiva aun en zonas de difícil acceso en la parte de la cabeza de la máquina (Figura 5.16).



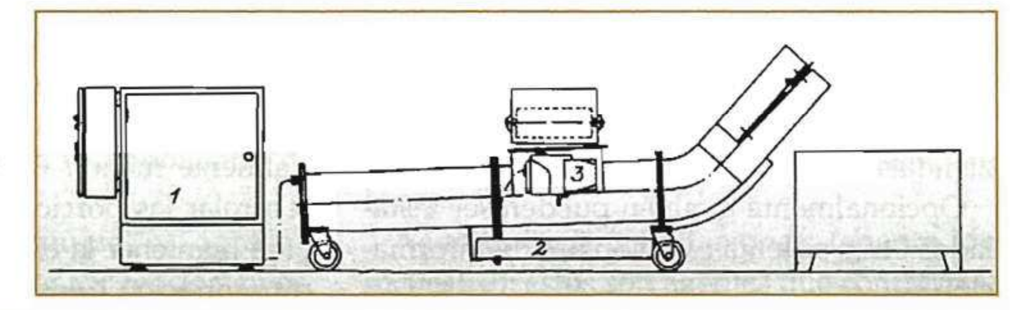


Figura 5.13
Prensa de etiquetas viejas
(1) gabinete de control,
(2) bandeja colectora,
(3) prensa

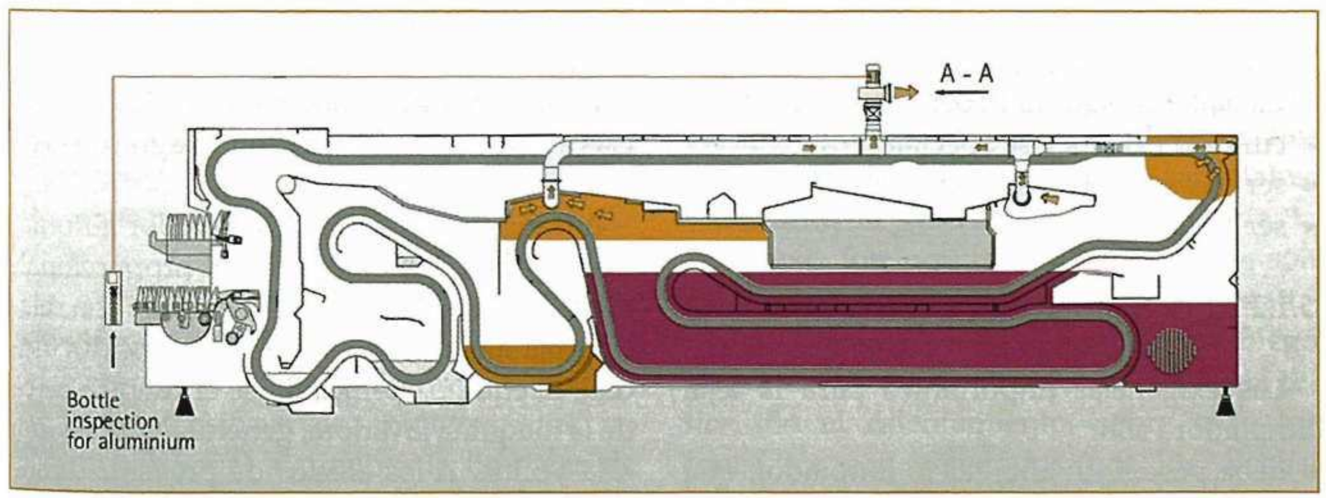


Figura 5.15
Aspiración de hidrógeno para prevenir la formación de gas detonante

La desinfección del espacio de cabeza puede ser realizada en frío o con vapor.

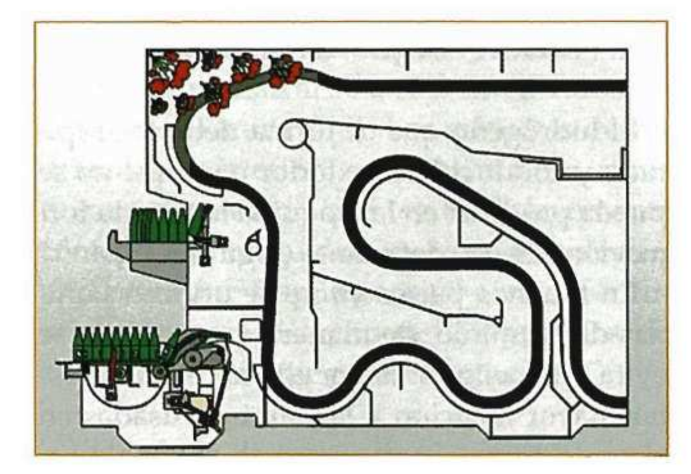


Figura 5.16
Desinfección del espacio de cabeza con vapor

Control de la máquina

Como sucede también con otras máquinas, las máquinas lavadoras de botellas son equipadas hoy en día con un controlador lógico programable, el que indica sobre un display parcialmente pivotante el estado actual de la máquina, parámetros característicos y, dado el caso, también indica y localiza fallas.

Opcionalmente también pueden ser instalados otros sistemas adicionales de información.

5.1.2.3 Lejía limpiadora

La lejía limpiadora debe:

- cumplir exigencias especiales,
- ser mantenida en su concentración y
- ser tratada.

5.1.2.3.1 Requerimientos a cumplir por la lejía limpiadora

Las exigencias importantes para la lejía limpiadora son:

- debe poseer un alto efecto limpiador, que incluye
  - la capacidad de desprender la suciedad,
  - un efecto inhibidor de gérmenes o un efecto germicida,
  - una buena capacidad mojante,
  - una rápida penetración en el papel.
- No debe ser venenosa y no debe introducir substancias tóxicas en las aguas residuales,
- no debe formar depósitos de incrustaciones,
- no debe espumar,
- debe ser fácil de dosificar y
- debe costar lo menos posible.

5.1.2.3.2 Componentes de la lejía limpiadora

Como lejía limpiadora se utiliza

- ***una solución al 1,5 a 2,0% de soda cáustica (NaOH)***

con aditivos para alcanzar las exigencias mencionadas.

Se debe asumir que para 1 parte de aditivos corresponden 3 a 5 partes de NaOH.

Bajo la influencia del dióxido de carbono del aire, una porción progresivamente creciente del NaOH se transforma en Na_2CO_3 y $NaHCO_3$, los cuales tienen un efecto substancialmente menor. Es por ello que se deben controlar las porciones de NaOH y Na_2CO_3 para mantener la efectividad de la lejía. Una concentración de NaOH de 1,6% ha demostrado ser óptima.

Los aditivos son vendidos frecuentemente combinados como concentrados de substancias activas y se los agrega en magnitudes de 0,3 a 0,5% a la soda cáustica.

A través de un equipo dosificador automático, los aditivos son agregados proporcionalmente a la dosificación de NaOH en una relación fija que es controlada por la conductividad. El equipo dosificador se encuentra cerca de la máquina lavadora, generalmente en una sala vecina. A los efectos de prevenir daños medioambientales en el caso de pérdida en un contenedor de lejía o de aditivos, estos contenedores deben ser colocados dentro de

tanques protectores o dentro de piletas de pisos resistentes a lejías y libres de drenajes.

Si se trabaja con láminas de aluminio, se debe aumentar la proporción de alcalinidad de la lejía, porque de lo contrario el aluminio precipita y sedimenta. Se calcula entonces con un equivalente a tres veces el valor de aluminato en lejía (0,7% de aluminato exigen 2,1% de lejía). La concentración es entonces tan alta que todo el aluminio es desintegrado en el tiempo disponible.

Si se utiliza una segunda lejía, ésta es preparada con una menor concentración (0,5 a 0,8% de NaOH), y no se agregan aditivos por dosificación, porque éstos son adicionados de forma continua por el arrastre permanente.

Los aditivos contienen o son suplementados por:

Agentes antiespuma:

Estos son agentes que previenen un espumaje molesto de la lejía en la máquina lavadora. El espumaje ocurre en primer lugar por el adhesivo de las etiquetas, que se encuentra en disolución. Los agentes antiespuma son comercializados generalmente de forma separada y no como componentes de los aditivos.

Como agentes antiespuma se agregan muy frecuentemente agentes tensioactivos. Los agentes tensioactivos son muy buenos para desprender suciedad y previenen un espumaje indeseado de la lejía limpiadora. Se diferencian aquí cuatro compuestos tensioactivos:

- agentes tensioactivos no iónicos,
- agentes tensioactivos catiónicos; éstos incluyen, por ejemplo, compuestos de amonio cuaternarios (CAC),
- agentes tensioactivos aniónicos y
- agentes tensioactivos anfóteros, que no cumplen papel alguno en la limpieza de botellas.

Para el desespumaje se emplean especialmente agentes tensioactivos no iónicos y catiónicos como aditivos para los agentes de limpieza. Si bien estos agentes tensioactivos tienen un buen efecto de limpieza, tienden sin embargo a depositarse en superficies fijas y muestran un mal comportamiento de enjuague. Sin embargo, luego de un nuevo llenado, los residuos de agentes tensioactivos adheridos a las paredes entran nuevamente en solución al cabo de pocos días. El fuerte efecto deteriorante de los agentes tensioactivos sobre la espuma es una desventaja en esto; ya cantidades a partir de 100 mg/l conducen a perjuicios en la espuma, teniendo los agentes tensioactivos no iónicos la mayor influencia negativa.

A fin de mantener el deterioro de espuma lo más reducido posible, se debería realizar la adición de agentes tensioactivos separada de la solución limpiadora, a través de un dispositivo individual de dosificación, y la concentración de agentes tensioactivos debería ser monitoreada permanentemente por medio de una analítica segura [194]. Pero debe decirse también que la lejía limpiadora, las etiquetas, el adhesivo en disolución y los residuos del último baño de remojo también tienen un efecto perjudicial sobre la espuma.

Agentes antiincrustaciones (agente de secuestro): estos son agentes que contrarrestan el depósito de $CaCO_3$ insoluble en la máquina lavadora. Los agentes antiincrustaciones son adicionados generalmente en el baño de agua caliente, porque allí es precipitada una parte substancial de los carbonatos.

Durante la circulación a través de la máquina, los portadores de botellas son calentados constantemente hasta temperaturas por encima de 80°C y enfriados luego nuevamente; lo mismo sucede con las botellas. En el calentamiento, sobre todo los iones Ca son separados por los álcalis. Además, los hidrocarbonatos son precipitados como carbonatos insolubles por el calentamiento y causan por ello el depósito de

incrustaciones en las botellas y en los portadores de las mismas, a raíz de lo cual se incrementa a su vez el arrastre de lejía:

$$Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- + 2\ Na^+ + 2\ OH^- \rightarrow$$
$$CaCO_3 + 2\ Na^+ + CO_3^{-2} + 2\ H_2O.$$

1°dH (grado de dureza alemán) corresponde en esto a la precipitación de aproximadamente 18 g $CaCO_3/m^3$ de agua. Por ello hay interés en la utilización de agua de menor dureza para la lejía limpiadora. Además, dado que con el tiempo las toberas de rociado son obstruidas por los formadores de dureza con la consecuente disminución del efecto limpiador, se adicionan agentes de prevención de incrustaciones (ajuste de valor pH < 8,5) en las zonas de rociado (rociado intermedio), los cuales deben inhibir la formación de incrustaciones.

Otro método amigable con el medio ambiente consiste en convertir en un reactor los carbonatos en hidrocarbonatos solubles en agua, por adición de dióxido de carbono bajo presión, e inhibir con ello la formación de incrustaciones.

Surfactantes: son substancias que poseen una buena capacidad de desprendimiento de suciedad y que se encargan de que la suciedad sea ligada y de que el agua escurra bien de la pared de botella. Estas substancias están compuestas frecuentemente por agentes tensioactivos, lo cual debe ser tenido muy en cuenta.

Agentes de complejación para aluminio disuelto:

éstos son por lo general ácidos orgánicos, que ligan de forma compleja el aluminio disuelto de las etiquetas y láminas, y evitan de este modo una formación de gas detonante, que de lo contrario sería posible.

Aparte de ello existen agentes de complejación para el desprendimiento de impurezas minerales.

Agentes reductores de scuffing

Dado que el recubrimiento superficial del vidrio es lavado luego de varias circuitos el vidrio es atacado entonces cada vez más intensamente por la lejía. En el caso de valores pH suficientemente elevados, el vidrio es disuelto progresivamente, dado que trata continuamente de formar interfases estables con el medio circundante. Ello ocurre muy especialmente en los puntos de scuffing (anillos de rozamiento, puntos de abrasión).

Esta disolución puede ser reducida por determinados iones, por ejemplo, agentes dispersantes. Por otro lado, los carbonatos y particularmente los fosfatos tienen un efecto fuertemente agresivo frente al vidrio e incrementan de este modo el efecto químico del scuffing [166].

5.1.2.3.3 Mantenimiento de la concentración en la lejía limpiadora

Cuando las botellas son enjuagadas por rociado, no escurren luego completamente de forma inmediata. Se puede asumir que en una botella de 0,5 l se encuentran aún aproximadamente 2 a 3 g de líquido, luego de los 10 s posteriores al vaciado. Esto es el 0,5% de la cantidad de llenado. Recién luego de aproximadamente 30 s de tiempo de goteo, el contenido se habrá reducido a aproximadamente 1 g.

A ello se agrega la lejía o el agua que quedan adheridas al portador de botellas o al alvéolo de botellas, de manera que se puede asumir que aproximadamente 10 a 20 ml de líquido por botella son arrastrados a la zona siguiente. Esto es llamado arrastre de lejía o de medios.

Por lo tanto, si una instalación con 30 000 botellas/h ha funcionado durante 10 horas, entonces han circulado a través de la instalación alrededor de 300 000 botellas durante ese tiempo. Si se calcula con 10 ml (= 0,010 l) de arrastre de medios por botella, entonces

han sido "transportados" 300 000 · 0,01 l = 3000 l = 30 hl de una sección a la siguiente. Si el arrastre es menor, aumenta la concentración de suciedad en la lejía, porque la extracción de suciedad disminuye con menor arrastre, en tanto que el ingreso de suciedad permanece constante. En esto casi no hay pérdida de líquido, porque en igual medida fue suministrada la misma cantidad de líquido por el remojo adyacente anterior. Pero el remojo ubicado antes del baño de lejía es abastecido con agua o lejía tibias. Como resultado de ello, debido al prerremojo, en cada caso:

- el baño de lejía se enfría,
- se diluye la lejía,
- se introducen contaminantes.

Es por ello que hay interés en optimizar el volumen de arrastre a 12 a 15 ml/botella mediante diferentes medidas. Éstas incluyen un diseño apropiado de los portadores de botellas, los cuales también transportan lejía. Ya existen máquinas lavadoras con un arrastre de lejía de menos de 8 ml/botella.

Es otro el comportamiento con el agua residual en la botella al final del tiempo de goteo, luego del enjuague con agua fría. Se exigen allí valores de 0,5 ml/botella (óptimo 0,3 ml/botella). Esto se logra únicamente por:

- prolongados tiempos de goteo,
- utilizando sólo rociados interiores al final de las zonas de rociado.

Sin embargo, en el caso de un tiempo de goteo muy prolongado, puede llegarse a la deshumectación y con ello a "botellas grises", porque las botellas se encuentran todavía en su temperatura por encima de la temperatura del agua de rociado, debido a la capacidad calórica del vidrio.

Debido a la lejía perdida, su concentración disminuye. Para poder garantizar un efecto total de limpieza, se debe reponer constantemente la lejía, se la "refuerza". Para ello se controla permanentemente la conductividad de la lejía, por medio de una sonda insensible a la suciedad, y se repone la lejía faltante desde contenedores de almacenamiento de mayor tamaño.

La conductividad a temperatura constante es proporcional a la concentración de lejía, la que no es posible medir de forma directa (o sólo a través de titulación contra un ácido).

Como contenedores de almacenamiento se utilizan recipientes de plástico, que deben estar ubicados dentro de piletas colectoras para prevenir una descarga indeseada en el caso de pérdidas (daño de las aguas subterránea y superficial). En lo posible, estos contenedores de almacenamiento se encuentran en una sala separada (almacén de productos químicos), cerca de la máquina lavadora de botellas, y están conectados con la máquina a través de tuberías de abastecimiento y los dispositivos de dosificación, equipos de regulación y bombas.

5.1.2.3.4 Preparación de la lejía limpiadora

Aun a pesar del refuerzo, el estado de la lejía limpiadora empeora, porque sedimenta cada vez más lodo y en la lejía se encuentran componentes solubles, insolubles o coloidalmente solubles. Éstos incluyen:

- fibras de papel de etiquetas en proceso de separación en fibras,
- pigmentos colorantes (óxido de titanio, caolín, carbonato de calcio, colorantes que contienen metales pesados),
- ligantes de las etiquetas (almidón, celulosa),
- agentes fijadores húmedos (resinas de melamina, resinas úricas),
- agentes de adhesivos (adhesivos resinosos),
- lodo de componentes calcáreos precipitado,
- suciedad adherida de botellas,
- casi todo el adhesivo de etiquetas, etc.

Se debe tratar de extraer este lodo, porque de lo contrario la lejía debe eventualmente ser reemplazada después de 6 a 8 semanas.

Existen varias posibilidades para la extracción de lodos:

Permitir la sedimentación

La solución más sencilla y usada consiste en bombear toda la lejía a un tanque de sedimentación separado y aislado térmicamente y permitir allí la sedimentación. Si luego la lejía es extraída por arriba, ésta se obtiene limpia. Sin embargo, únicamente las partículas contenidas en la lejía se extraen en este proceso, pero no la suciedad disuelta. Con ello se incrementa constantemente la carga de suciedad de la lejía limpiadora y las contaminaciones son arrastradas cada vez más a la zona de posenjuague.

La sedimentación causa un residuo altamente cargado, que debe ser eliminado como desecho.

Centrifugación

Es posible intercalar una separadora centrífuga autodescargante en una derivación de la máquina lavadora de botellas y pasar permanentemente una parte de la lejía limpiadora a través de la separadora centrífuga. De este modo se puede liberar a la lejía de substancias enturbiantes, ininterrumpidamente, sin pérdidas de lejía. Los costos para la separadora centrífuga se amortizan rápidamente a través de varias ventajas.

Filtración por membranas

El tratamiento de la lejía limpiadora se realiza en gran medida por filtración en derivación (by-pass) a través de filtros de membranas, con los cuales ya nos hemos familiarizado en la filtración de cerveza de levadura. En el caso de utilización de tales filtros, se puede operar con la lejía por un tiempo casi ilimitado. Según la membrana empleada y su grado de retención, se ajusta una disminución de la carga de suciedad de hasta 80%. Sin embargo, no se extraen todas las partículas de suciedad, especialmente dado que substancias disueltas quedan en solución. Debido a este tipo de filtración de la lejía limpiadora, se restringe substancialmente el consumo de productos químicos de limpieza, agua, aguas residuales y energía calorífica, de manera que el equipo de filtración se puede amortizar en la mayoría de los casos en dos a tres años.

La filtración es la forma más moderna de limpieza, especialmente considerando el constante aumento de los precios para aguas residuales cargadas.

Si la lejía es tratada de manera apropiada y reforzada permanentemente, se la puede usar prácticamente por tiempo ilimitado sin reemplazo de la misma, dado que pronto ya no queda nada de la lejía original debido al arrastre de lejía y los refuerzos permanentes. Sin embargo, es importante la extracción constante de los lodos.

Pero la lejía debe ser mantenida bajo control permanente, en lo que respecta a su composición, a los efectos de mantener su total efectividad. Esto es de gran importancia para la limpieza y esterilidad de las botellas.

5.1.2.3.5 Consumo de agua en la limpiza de botellas

Por lo general se debe calcular con aproximadamente 200 a 250 ml de consumo de agua/botella de 0,5 l; los valores fluctúan entre 150 y 350 ml/botella (= 0,3 - 0,7 hl por cada 1 hl de cerveza). El consumo depende predominantemente de la cantidad de toberas rociadoras, porque en esto no se puede recuperar toda el agua. Cuanto más frecuentes e intensivos son los posrociados, tanto más frías están las botellas en la descarga, pero tanta más agua se consume también.

Si se ahorra agua, se incrementa la temperatura de las botellas en la descarga. ¡La temperatura en la descarga se incrementa hasta aproximadamente 30°C si no se quiere exceder un consumo de agua de aproximadamente 150 ml/botella! Sin embargo, no debe-

ría starse por debajo de un valor de 150 ml/ otella, dado que entonces la carga de suc dad puede aumentar considerablemente deb do a un menor rociado de enjuague. En ese aso, la extracción de posibles residuos tens oactivos ya no puede ser asegurada.

Se obtienen potenciales reales de ahorro de a ua [271] por:

- la adaptación de los tiempos de pausas de rociado,
- la adaptación del suministro de agua fresca al rendimiento actual de la máquina y
- un reciclado de agua, por ejemplo, en el caso de la reutilización del agua tratada en la zona de agua fresca, etc.

Un consumo de 180 a 200 ml/botella debe ser considerado como bueno.

El consumo de calor de la máquina lavadora es 30 a 40 kJ/botella; se exige un valor menor que 35 kJ/botella; los valores óptimos se encuentran en 25 kJ/botella (máquinas con entrada y salida en sendos extremos).

5.1.2.4 Trabajos de limpieza y mantenimiento en la máquina lavadora de botellas

La limpieza interior de la máquina lavadora de botellas está garantizada por medio de cabezales rociadores fijamente instalados. Éstos se encuentran:

- en el área de las zonas y piletas acumuladoras de agua de rociado caliente y fría,
- en el área de carga y descarga de botellas,
- en el área de los prerremojos, así como
- en el área de los rociados intermedios para la desincrustación (medio ácido).

Además de ello deben realizarse, aparte de la extracción regular de substancias enturbiantes de la lejía limpiadora, otros trabajos al final de la producción:

- luego del drenaje de la lejía limpiadora, los baños de lejía deben ser enjuagados por rociado,
- las zonas de agua caliente y fría deben ser vaciadas, liberadas de la suciedad y enjuagadas minuciosamente por rociado. Debe cuidarse de que no se depositen sedimentos calcáreos, porque sobre la superficie porosa de éstos anidan rápidamente microbios, que encuentran condiciones ideales en el medio tibio. Los microorganismos alcanzan luego las botellas a través del agua de rociado.

Se recomienda la desinfección de las zonas de agua con ácido peracético o por espumaje con un limpiador desinfectante.

- Se debe prestar especial atención a la parte de cabeza de la máquina y la formación de gotas en esa área. Son necesarias aquí limpieza y desinfección regulares si no se encuentra instalada una limpieza automática (ver Punto "Limpieza de la parte de cabeza"). Lo mismo vale para la limpieza y desinfección de la carga y la descarga de botellas.
- Con el tiempo se deposita sobre la cara inferior de los portadores de botellas una gruesa película de suciedad, que debe ser eliminada regularmente. Los portadores de botellas más antiguos se enlodan totalmente si no se los limpia y arrastran el lodo de lejía como una esponja.

5.1.2.5 Descarga de botellas nuevas de vidrio y latas

En tanto que las botellas retornables vuelven a recorrer siempre el mismo circuito, las botellas no retornables, o también las botellas retornables nuevas y las latas, son introducidas en estado nuevo en el proceso de envasado y suministradas directamente a la llenadora luego de un breve rociado (enjuague).

Sin embargo, la alimentación de estos recipientes tiene algunas peculiaridades, dado que éstos no son suministrados en cajones o cajas de cartón, sino en paletas con divisores planos o con tapas o fondos tipo caperuza.

En los despaletizadores elevadores, las botellas de vidrio o PET son levantadas; el principio de elevación exige que cumplan

determinados esquemas de embalaje. Son posibles diferentes esquemas de embalaje por reensamblaje y reajuste del cabezal de carga.

La descarga es realizada mediante descargadores con dispositivos empujadores que empujan los recipientes (botellas o latas) por capas; en este proceso, el pasaje debe ser mantenido plano, de manera tal que no se caiga ningún recipiente. Si a pesar de ello ocurren caídas en masa –sobre todo en el caso de latas–, inevitablemente se producen abolladuras y pérdidas. Es por ello que se está interesado en descargar todos los recipientes con un contacto estrecho entre ellos.

5.1.3 Control de las botellas de vidrio retornables limpiadas

Se puede asumir que todas las botellas salen limpias de la máquina lavadora de botellas. Aun así existe el riesgo de que no hayan sido extraídos totalmente todos los agentes de limpieza, en especial tensioactivos no iónicos, aun a pesar del enjuague minucioso. Debido a su gran tensión superficial, los residuos de tales agentes tensioactivos pueden influir de forma sensiblemente negativa sobre la estabilidad de espuma.

Es por ello que botellas individuales limpiadas, elegidas al azar, son enjuagadas con un líquido de enjuague luego de la descarga y controladas en lo que respecta a tensioactivos no iónicos, CSB, alcalinidad y sobre todo tensión superficial. Son valores exigidos para:

- tensión superficial (método VLB) > 55 mN/m
- tensioactivos no iónicos (método VLB) < 0,5 mg/l
- CSB en la botella < 15 mg/l

Por lo general se asume un efecto limpiador de la máquina bueno a muy bueno, especialmente ya que los contaminantes generalmente no deberían resistir el procedimiento en la máquina. Pero aparte de ello es necesario verificar que todas las contaminaciones adheridas hayan sido eliminadas completamente. Cualquiera sabe que las llamadas "botellas de albañil" muy sucias no pueden ser limpiadas satisfactoriamente en la máquina. Sin embargo, entre estas botellas visiblemente muy sucias y las botellas de vidrio nuevas existen varios estados intermedios. La cantidad de botellas separadas del resto provee un cierto punto de partida para la eficiencia del proceso de limpieza. A los efectos de una comparación objetiva, se ha desarrollado una botella con "ensuciamiento estándar" [281]. Para ello se extienden y se secan en una botella suspensiones de agua, levadura, almidón y kieselgur en cantidades establecidas exactamente. La cantidad y el tipo de suciedad aun presente después de la limpieza de botella permiten sacar conclusiones respecto de la integridad del proceso de limpieza en la máquina.

Tal como hemos visto recién, aun a pesar de la limpieza minuciosa puede haber todavía botellas (Figura 5.18 a) que:

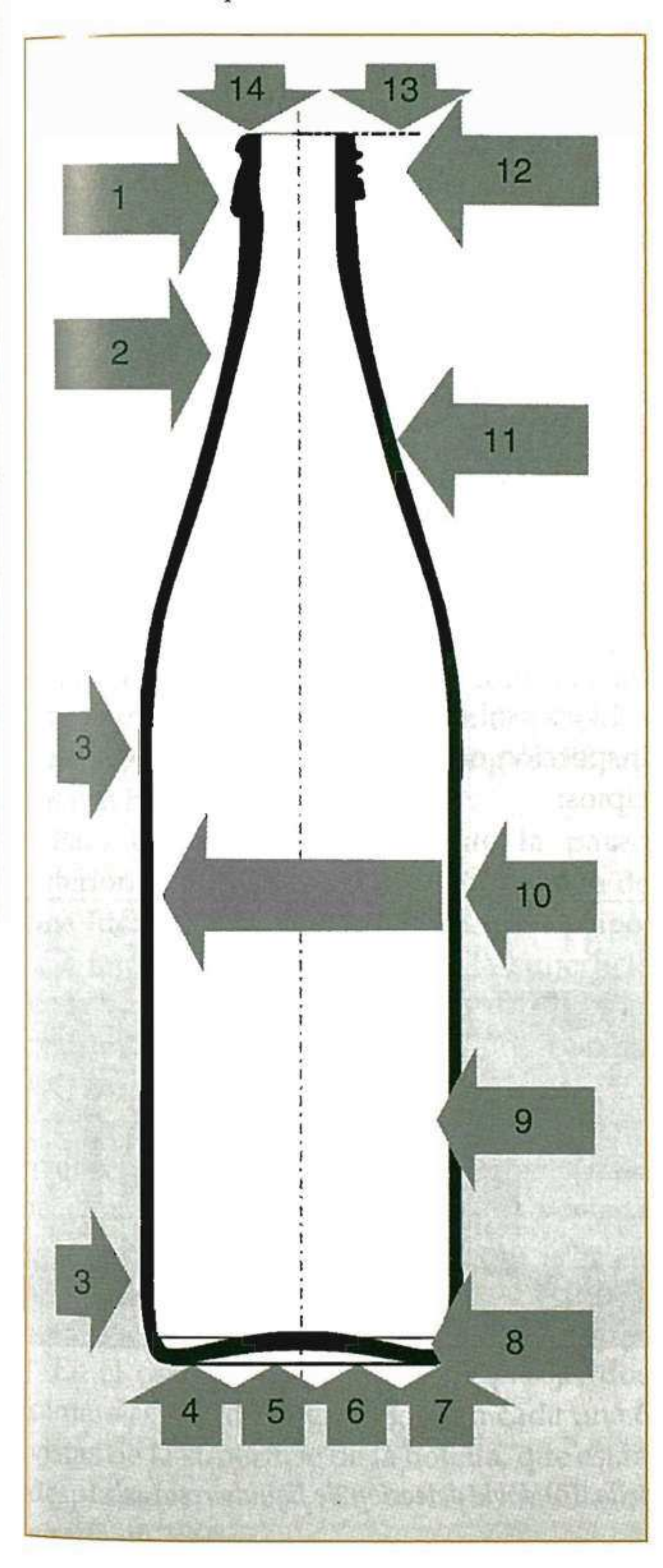
- estén dañadas, por ejemplo, en la zona de la boca (12, 13, 14),
- tengan irregularidades o signos de desgaste, por ejemplo, anillos de scuffing (3),
- contengan aún restos de líquido, eventualmente hasta residuos de lejía (8),
- tengan suciedad fuertemente adherida (10) o
- contengan cuerpos o substancias extraños dentro de las botellas (4, 5, 6, 7).

A los efectos de excluir esto, luego de la limpieza de botellas y antes del llenado, las botellas son controladas con ayuda de una inspeccionadora de botellas vacías. La inspección de botellas vacías debe garantizar tanto al operador como al consumidor que sólo son llenadas aquellas botellas que cumplen con las disposiciones legales del país, o con las especificaciones industriales del ramo, en todo su alcance.

Se debe asumir en esto que:

- las botellas aún cerradas han sido descorchadas,
- las botellas ajenas han sido apartadas y
- las etiquetas perimetrales han sido extraídas

antes de la limpieza de botellas.



Inspeccionadora de botellas vacías

La inspección de botellas se efectúa hoy en día exclusivamente por vía electrónica mediante varias cámaras CCD matriciales. Estas inspeccionadoras de botellas vacías son construidas y ofrecidas como dispositivos

- de tipo rotatorio o
- de pasaje.

A pesar de que el esfuerzo de operación y el requerimiento de superficie son aproximadamente similares en ambas máquinas, existe sin embargo una serie de diferencias:

Los dispositivos rotatorios guían las botellas vacías durante la inspección sobre una trayectoria circular (Figura 5.19). En ellos ocurre

- una conducción exactamente definida de la botella con rotación completa de las botellas,
- un control de pared con resolución más alta, en especial en el caso de utilización de una cámara de líneas.
- Para diferentes formas de botellas son necesarias, sin embargo, partes adicionales de formato, lo cual requiere de tiempos de reajuste más prolongados, costos adicionales y espacio de almacenaje.
- Además, la limpieza y el mantenimiento en estos equipos son más costosos.

Los dispositivos de pasaje guían las botellas a inspeccionar por delante de las distin-

Figura 5.18a
Posibilidades de inspección en botellas de vidrio (1) inspección lateral de boca, (2) detección de lámina: pared, (3) detección de abrasión, (4) detección de lámina: fondo, (5) inspección de fondo, (6) detección de trozos de vidrio, (7) detección de roturas de fondo, (8) detección de lejía/restos de líquido, (10) inspección de pared, (11) reconocimiento de contornos, (12) inspección de rosca, (13) reconocimiento de altura de recipiente, (14) inspección de superficie de sello

tas estaciones. También esto tiene ventajas y desventajas:

- los costos de inversión son menores, pero
- es necesaria una preclasificación para el reconocimiento del formato y
- las botellas deben ser tratadas individualmente, tal como en el dispositivo de tipo rotatorio.

Naturalmente que para una detección objetiva de los muchos puntos y zonas de inspección ya no alcanza el ojo humano, pasible de cansarse. Para el cumplimiento de estas tareas, la inspeccionadora de botellas vacías posee varias cámaras CCD matriciales, que dividen en píxeles la fotografía registrada de la parte de botella inspeccionada. Los píxeles son evaluados según determinados métodos de cálculo variables y la botella es aprobada o separada del resto según el principio sí/no.

Con un rendimiento llenador de 50000 botellas/hora, la electrónica dispone en esto para cada botella individual (en 3600 s = 50000 botellas) de apenas 0,07 segundos (= 15 botellas/s) y, para la boca de botella, de un intervalo aún mucho más breve. A fin de obtener un cuadro concreto de la parte inspeccionada en tan breves intervalos, así como una resolución de la fotografía que sea lo más alta posible, se "congela" la fotografía con ayuda de un flash estroboscópico. En algunos sistemas se corrige adicionalmente de forma electrónica la falta de nitidez por movimiento.

Las inspeccionadoras de botellas vacías para botellas de vidrio son construidas como dispositivos de tipo rotatorio o de pasaje derecho, y contienen:

- una o dos cámaras con espejo y/o sistema de rotación para la detección de la pared exterior,
- una cámara para la inspección del fondo,
- una cámara para el control de boca,
- un detector de lejía de alta frecuencia,
- un detector de líquido residual por infrarrojo,
- una cámara para el control de la pared interior y,
- en el caso de cierres roscados: una cámara para el control de rosca.

El control de los módulos individuales de inspección ocurre según los siguientes principios:

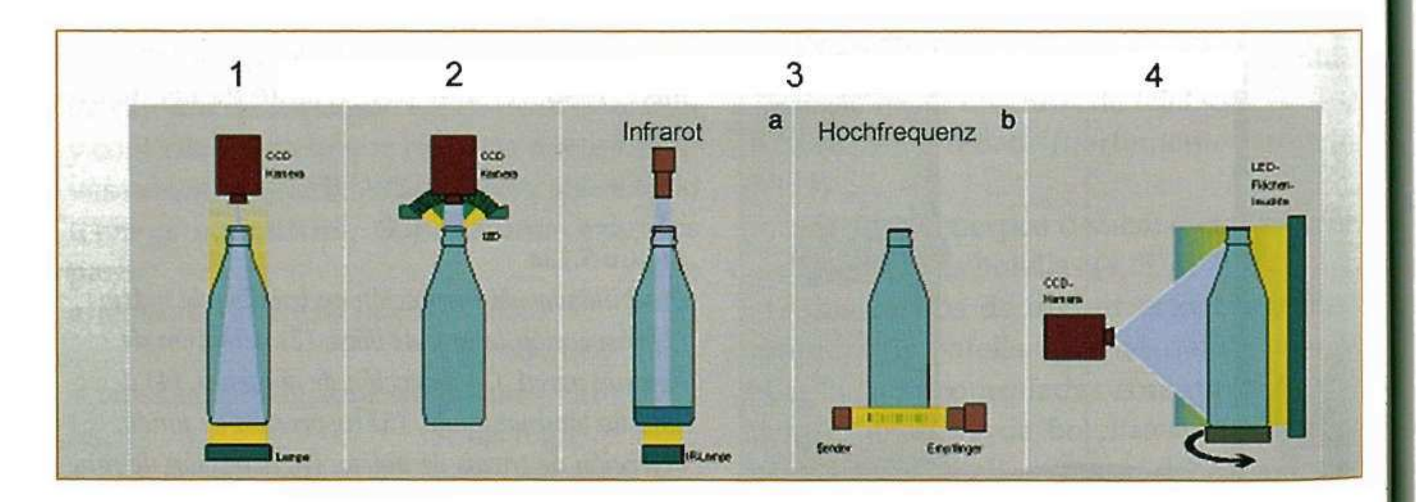


Figura 5.19
Inspección de botellas vacías
(1) inspección de fondo, (2) inspección de superficie de sello, (3) doble detección de líquido residual: a infrarrojo, b alta frecuencia, (4) inspección de pared

Control de pared exterior

En el control de la pared exterior deben ser detectadas todas las particularidades que no corresponden a la botella, tales como restos adheridos de etiquetas y láminas, otras contaminaciones o rayaduras sobre la superficie.

En relación con esto cumple un papel especial la abrasión recíproca, el scuffing. En especial en los lugares de convergencia de botellas, estaciones esquineras y cintas de varias pistas con velocidades diferentes, se produce un rozamiento entre las botellas, el cual se refleja en un rayado progresivo de la superficie. A los efectos de proteger las etiquetas y restringir las rayaduras, las botellas están provistas en muchos países de un engrosamiento apenas visible en las partes superior e inferior. De esta manera, el rayado se reduce en estos casos a dos anillos de rozamiento, que se ensanchan cada vez más con la abrasión progresiva y deterioran el aspecto de la botella. En algunos países se considera que el anillo de scuffing que se ensancha está en relación directa con el riesgo de rotura de las botellas y se exige la eliminación de éstas. La detección de los anillos de scuffing es dificultosa en botellas mojadas.

Para controlar correctamente la pared exterior, la botella es girada 360° delante de una fuente de iluminación. En ese tiempo, una fotografía digitalizada de la superficie de la botella en 256 tonalidades de grises es registrada en 9 fotografías con una cámara CCD matricial.

La evaluación de estas fotografías es realizada en 10 ventanas de inspección, como máximo; se puede elegir para cada ventana un algoritmo separado con diferente sensibilidad. Por ejemplo, las botellas con scuffing pronunciado son separadas aquí del resto.

En el caso de dispositivos de pasaje, dos cámaras CCD de líneas registran cada una 6 vistas de la superficie de la botella, que están desplazadas en 30°. En esto, la botella es girada en 180°.

En todos los casos, el tiempo de exposición es adaptado a la diafanidad del vidrio de la botella, pudiendo así ajustarse en varias zonas diferentes sensibilidades y algoritmos de evaluación. La evaluación ocurre según determinados valores umbral.

Control de fondo

El control de fondo es realizado por medio de una cámara CCD matricial con iluminación por lámpara halógena o estroboscópica en combinación con un filtro de polarización (Figura 19a).

Para el control de fondo se subdivide el fondo de la botella en zonas, que pueden ser ajustadas con diferentes algoritmos y sensibilidades. El sistema de cámaras está equipado con una compensación de luminosidad, que compensa las diferencias de color de las respectivas botellas.

La evaluación del fondo puede ser realizada en diferentes zonas de intensidad:

- evaluación anular, por ejemplo, contaminación de la zona de borde, daños de vidrio,
- evaluación en bloque, en especial en la zona de borde,
- evaluación radial, en especial residuos de bebida,
- evaluación de luminosidad, por ejemplo, para cuellos de botella obstruidos, fondos totalmente tapados,
- detección de láminas para láminas o astillas de vidrio transparentes.

Es particularmente importante aquí también el control de las rajaduras por tensiones (stress cracks) en botellas de PET. Las botellas con una cantidad relativamente grande de rajaduras por tensiones son separadas del resto.

Control de boca

Las bocas de botella son los puntos de las botellas más complicados y a la vez con mayores riesgos. Se debe controlar aquí sobre

todo si hay roturas, rajaduras, fisuras o contaminaciones que impidan un sellado completo de la botella nuevamente cerrada o que puedan lastimar al consumidor, por ejemplo, por daños en el vidrio o por astillas del mismo.

5

Por ello se controla:

- la rosca de cierre en las botellas con tapón a rosca o del tipo twist-off y
- la superficie de sello de la boca.

Control de rosca de cierre

Como fuente de luz para el control de la rosca de cierre se emplean estroboscopios con conductores de luz o una lámpara lateral. En cualquier caso, la evaluación ocurre por medio de una cámara CCD matricial.

En el caso de utilización de un estroboscopio, una luz proveniente de fuentes de radiación enfrentadas es dirigida tangencialmente sobre la rosca; allí es reflejada por las aristas de rotura y derivada a la óptica receptora, por lo cual se detectan las fallas.

En el caso de utilización de una lámpara de superficie o de una de pared, la botella es puesta a girar y simultáneamente se realizan fotografías:

- en el caso de dispositivos de tipo rotatorio son 8 fotografías en una rotación de 360° y
- en el caso de dispositivos de pasaje son 4 fotografías con utilización de 4 espejos desplazados en 45° y giro de las botellas en 90°.

Control de superficie de sello de la boca

En el control de boca se examina si la superficie de sello de cierre se encuentra en perfecto estado. Sobre todo se detectan en esto:

- partes rotas de las superficies de sello,
- rotura de vidrio en la boca,
- rajaduras y fisuras en el vidrio.

Sin embargo, en esta vista desde arriba no se detecta el estado de la parte que se encuentra debajo del anillo sostén de la botella con tapón corona, donde se forman, por ejemplo, frecuentemente anillos de herrumbre de tapones corona.

El control de la superficie de sello de la boca (Figura 5.19b) se hace:

- por medio de una cámara CCD matricial con diodos luminosos infrarrojos como fuente de luz o
- por medio de un escáner rotatorio con 2 a 3 fotocélulas y rayos de luz de una lámpara halógena, a través de conductores de luz.

La fotografía de la boca de botella digitalizada por los diodos luminosos infrarrojos es evaluada respecto de:

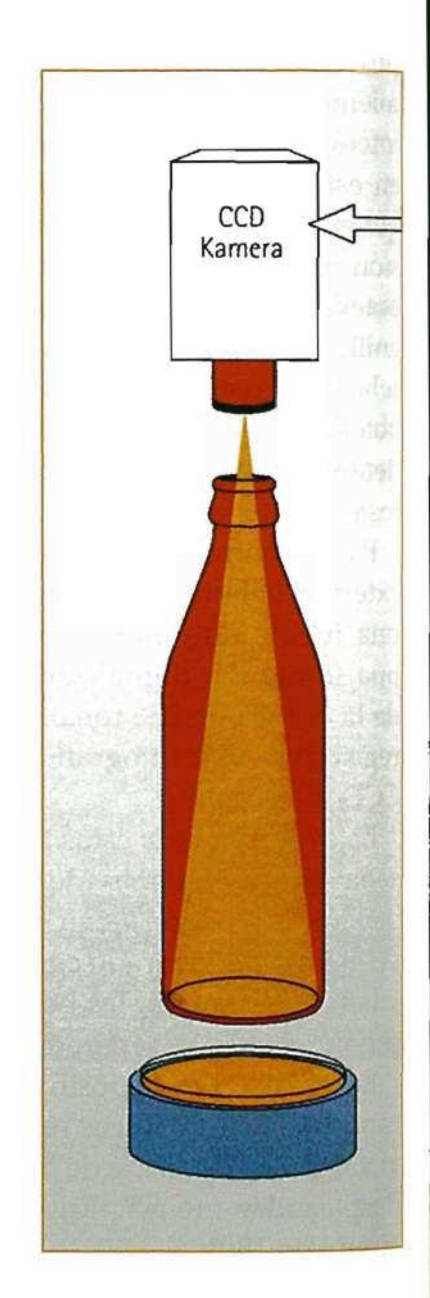


Figura 5.19a
Inspección de fondo

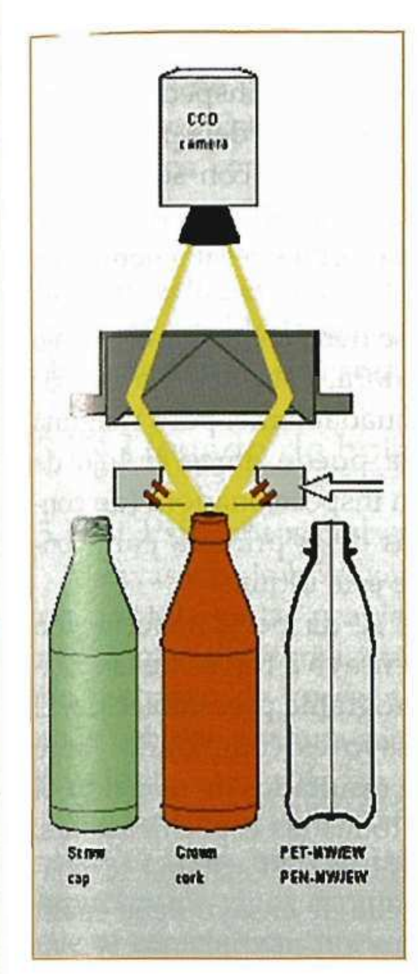


Figura 5.19b Inspección de boca

- interrupciones anulares y
- reflexiones fuera de los anillos.

La fotografía expuesta a los fotodiodos es evaluada según diferencias de luminosidad:

- evaluación de superficies falladas (superficies de sello, daños de rosca),
- evaluación de luminosidad (botellas cerradas, botellas sin cuello).

Control de líquido residual (siempre doble)

No se puede descartar, bajo circunstancias desfavorables, que queden residuos de lejía en la botella también después de la limpieza; así, por ejemplo, cuando un residuo de etiqueta ingresa a la botella y obstruye el drenaje residual. Esta lejía debe ser detectada y la botella debe ser separada del resto.

Por principio se controla doblemente por ello la existencia eventual de líquido residual con ayuda de dos procedimientos diferentes:

- por medio de radiación de alta frecuencia (HF) y
- por medio de radiación infrarroja (IR).

Control por medio de radiación de alta frecuencia

En la detección de lejía por HF (alta frecuencia) se aprovecha que la constante dieléctrica de estos líquidos es 2 a 3 veces más elevada que la del vidrio. En el caso de presencia de lejía, el sensor recibe más energía. Ante la detección de la menor variación de capacidad, la botella es separada del resto.

A fin de lograr una mejor detección, la botella es inclinada un poco para que se acumule el líquido.

Control por medio de radiación infrarroja

Como complemento de la detección por HF de lejía residual se utiliza el control infrarrojo (IR) de líquido residual, el cual, contrariamente a la detección de lejía por HF, aprovecha las porciones infrarrojas de la iluminación estroboscópica del control de fondo de la cámara.

La unidad de control IR consiste en una carcasa de lámpara, un sensor infrarrojo con objetivo zoom y un ordenador que indica si hay residuos de líquido en el fondo.

Control de pared interior

El control de la pared exterior sólo detecta limitadamente fallas y objeciones de la pared interior, de manera que es necesario un control adicional de pared interior. Esto ofrece además la posibilidad de inspeccionar adicionalmente por dentro las botellas con etiqueta marcada a fuego.

El control de la pared interior ocurre con ayuda de una cámara CCD matricial e iluminación por medio de una lámpara en el fondo. Sobre el sensor de la cámara CCD se genera una imagen de la pared de botella visible y del fondo de botella. Naturalmente que aquí todas las partes o fallas son repro-

ducidas tanto más grandes cuanto más cerca se encuentran de la cámara.

El control de la pared interior causa dificultades en algunos tipos de botellas, porque los pasajes en la zona del cuello algunas veces no permiten un control al 100%. Sin embargo, la seguridad asociada a un control al 100% de las botellas vacías conduce cada vez más a la introducción de material de botellas más fácil de controlar.

Las fallas ubicadas detrás de escrituras o el scuffing muy intenso pueden ser detectados con ayuda del control de pared interior.

Posibles controles adicionales

Si todavía no ha ocurrido una exclusión previamente, se pueden separar del resto, por medio de dispositivos adicionales, aquellas botellas que:

- son demasiado altas o demasiado bajas,
- tienen otro color,
- difieren en el diámetro y en el contorno, o
- deben ser detectadas como botellas ajenas por tener determinadas características.

Se debe garantizar que a partir de ahora sólo sean suministradas a la llenadora aquellas botellas que están absolutamente limpias y que satisfacen las exigencias al 100% en todas las posiciones.

Botellas separadas del resto

Los motivos de separación de las botellas del resto de ellas son muy diferentes; van desde contaminaciones hasta daños en el cuerpo de vidrio. Queda por decidir qué hacer con las botellas separadas del resto. Existen posibilidades:

- de asignar estas botellas a la chatarra de vidrio o
- de limpiar las botellas aún sucias en otro pasaje, o
- de lograr una separación por medio de una extracción diferenciada (chatarra de vidrio, otro ciclo de limpieza).

Control de la inspección

Del trabajo correcto de la inspeccionadora depende muchísimo. Si ésta deja pasar botellas sucias o contaminadas con substancias dañinas, no hay después sistema de control alguno que pueda proteger al cliente del daño.

Es por ello que se debe controlar el trabajo de la inspeccionadora. Esto debería ocurrir en realidad continuadamente, pero ninguna fábrica de cerveza puede darse el lujo de tener una segunda inspeccionadora (de control) costosa detrás de la primera para controlar el trabajo de esta última.

Es por ello que se da por satisfecha con pasar botellas de ensayo a través de la instalación según un programa preestablecido. El resultado del ensayo es comparado luego con una matriz de resultados de respaldo. Si se han cumplido todas las especificaciones, el ensayo está aprobado. El sistema responsable para esa botella de ensayo debe emitir una señal.

El examen con el programa de botellas de ensayo debe ser realizado cada 30 min o luego de una cantidad de botellas que corresponda usualmente a un tiempo de envasado de 30 min.

Debe verificarse además si todas las botellas reconocidas como falladas han sido también realmente separadas del resto. Este dispositivo de verificación (reject verification) debe estar construido de forma tal que no se convierta en inservible por desajuste, suciedad u otras influencias. Debe verificarse también que no sean separadas del resto botellas que no tengan falla alguna, porque, si bien esto no produce daño, las botellas separadas injustificadamente del resto afectan desfavorablemente la productividad de la fábrica.

A pesar de los costos relativamente altos que sin duda causa la técnica de inspección, debe considerarse ante todo que una calidad de producto permanentemente extraordina-

ria sólo puede ser alcanzada por medio de la utilización de una técnica de inspección de alta calidad. Esto también atañe a la protección de los consumidores, así como de la fábrica de cerveza, contra daños de cualquier tipo. Dados los elevados rendimientos horarios actuales en las plantas de envasado, ya no es posible la utilización de mano de obra humana en esta área.

5.1.4 Llenado de botellas

5.1.4.1 Principios del envasado

El envasado de la cerveza debe ocurrir de manera tal que las propiedades de valor se mantengan de forma durable y completa. Sin embargo, la cerveza se diferencia de otras bebidas por una serie de propiedades de valor.

Así, las cervezas, los refrescos que contienen CO_2, las bebidas sin alcohol y por supuesto los vinos espumantes son bebidas que se caracterizan por un elevado contenido de CO_2, que debe mantenerse intacto hasta llegar al consumidor. Muchas bebidas, como las cervezas o las bebidas no efervescentes libres de alcohol, son vulnerables frente a microorganismos, en tanto que no se puede desarrollar ningún tipo de microbio en las bebidas espirituosas. Mientras que la mayoría de las bebidas puede ser envasada de forma muy fluida, la diferencia usual de presión no es suficiente para un envasado practicable en el caso de licores de emulsión altamente viscosos. Ya desde este panorama es claro que no puede existir una llenadora común para todas las bebidas.

Según los principios de llenado se distinguen diferentes grupos de llenadoras:

1. según la presión durante el llenado,
2. según la dosificación de la cantidad de bebida,
3. según la temperatura durante el envasado y
4. según el pretratamiento de las botellas.

1. Presión durante el llenado

Se trata de introducir la bebida en la botella tan rápido como sea posible y sin daño alguno –de ello depende al fin y al cabo la efectividad de la planta–. Se debe distinguir en esto entre:

- la presión de llenado y
- la diferencia de presión impulsante.

La "diferencia de presión" depende de la diferencia de altura entre el nivel de la bebida en el tanque de almacenamiento y la botella. Esta diferencia de presión puede ser incrementada por medio de presión adicional (presión de llenado).

De acuerdo con la presión producida en el envasado, se diferencia entre:

- llenadoras por vacío y llenadoras por alto vacío,
- llenadoras a presión normal y
- llenadoras de sobrepresión.

Llenadoras por vacío/llenadoras por alto vacío: la fuerza de impulsión es la diferencia de presión respecto de la atmósfera. Ésa controla también simultáneamente la apertura de la vía de líquido (ausencia de botella – no se produce vacío).

En estas llenadoras se produce una leve presión negativa en el rango de 0,93 a 0,98 bar (absolutos) en la botella y de esta manera el líquido es succionado. Tales llenadoras por vacío son utilizadas para el envasado de bebidas muy fluidas y no efervescentes, como vino, leche, jugos o espirituosas, y se acelera de esta manera el proceso, que se desarrollaría más lentamente bajo presión normal.

Las llenadoras por alto vacío son utilizadas para el envasado de bebidas de mayor viscosidad, como licores de emulsión, jarabe, aceite o pulpa de tomate. El envasado de estos líquidos altamente viscosos duraría indefinidamente bajo presión normal. Por una presión negativa (0,6 a 0,9 bar absolutos) en la botella se produce una diferencia de presión mayor, por medio de la cual el

líquido altamente viscoso es succionado/presionado más rápidamente al interior de la botella.

Llenadoras a presión normal: en estas llenadoras, la velocidad de llenado es determinada únicamente por la presión estática del líquido. La vía de flujo del líquido para llenar debe ser controlada. Son escasas las llenadoras a presión normal.

Llenadoras de sobrepresión: tan pronto como se ha alcanzado la compensación de presión, la velocidad de llenado es determinada sólo por la presión estática del líquido. La vía de llenado recién es abierta cuando se ha producido una compensación de presión entre la botella y el gas sobre el líquido (principio isobarométrico). La presión de envasado debe ser mayor que la presión de equilibrio del CO_2 en la bebida (presión de saturación). Depende del contenido de CO_2 y de la temperatura.

Se utilizan llenadoras de contrapresión para el envasado de todas las bebidas que contienen CO_2. Si se envasaran bebidas que contienen CO_2 bajo presión normal, éstas comenzarían a espumar inmediatamente y no se lograría llenar botella alguna. Las llenadoras de cerveza son siempre llenadoras de sobrepresión.

2. *Dosificación de la cantidad de bebida*

La dosificación de la cantidad de bebida a envasar puede ser realizada según:

- altura (nivel),
- volumen o
- masa.

Dosificación según la altura o el nivel

En el llenado por nivel, la botella es llenada hasta una marcación de altura establecida, calculada a partir de la boca. La marcación es establecida por la entrada del tubito de gas de retorno o por medio de una sonda electrónica. Esto es posible porque todas las botellas de vidrio son de dimensiones exactas de forma absoluta, y las botellas de plástico lo son en el marco de las tolerancias permitidas, y con esto se envasa un volumen especificado.

El llenado según el nivel es la forma usual de envasado.

Dosificación según volumen

Es posible medir el volumen de envasado para la botella antes del procedimiento de llenado y lograr con ello un llenado exacto y particularmente veloz. Asimismo se realiza la medición de caudal a través de caudalímetros magneto-inductivos, respectivamente a través de medición de caudal másico.

Pero la dosificación según volumen cumple también un papel importante en el envasado de bebidas en contenedores no normalizados, en botellas de plástico con paredes más delgadas y en las máquinas de despacho abierto.

La dosificación según volumen debe estar acoplada a una compensación de la temperatura del líquido para llenar.

Dosificación según masa

Una dosificación según masa sólo puede ser utilizada para unos pocos líquidos y puede ser ignorada aquí. Es ventajoso en el envasado por masa que las diferencias de temperatura del líquido para llenar no tengan importancia. En el llenado de kegs volveremos sobre esto, respectivamente sobre el pesaje de kegs llenos.

3. *Temperatura de envasado*

En la limpieza de botellas, éstas alcanzan temperaturas muy elevadas. Si luego de un rociado caliente de enjuague de las botellas, la bebida también es envasada en caliente, no se pueden desarrollar microorganismos. Se tiene entonces una bebida estéril que ya no tiene que ser pasteurizada. Esto se denomina:

- envasado en caliente con temperaturas mayores de 60°C.

Aparte de esto se distingue:

- el envasado tibio con temperaturas de 18 a 25°C; es decir, a temperatura ambiente, y el usual
- el envasado en frío a temperaturas de 5 a 10°C.

El envasado en caliente es especialmente interesante para aquellas bebidas en las cuales no puede ocurrir menoscabo alguno de los componentes de la bebida por efecto del calor. En el caso de la cerveza, el envasado en caliente no ha podido imponerse, porque ello causa subsecuentes perjuicios en el sabor, debido a la acción del calor, así como un elevado desgaste debido a presiones de envasado > 6 bar (m).

Luego del envasado en caliente, las botellas son enfriadas a la temperatura de almacenamiento por medio de una refrigeración de retorno.

En el envasado tibio se prescinde de un enfriamiento total en el último tramo de la máquina lavadora de botellas y se envasa a temperaturas de 20 a 25°C. Esto tiene ventajas en el ahorro de agua.

El envasado en frío es por lejos la forma usual de envasado para cerveza. En esto tiene gran importancia la temperatura del agua fresca. Con agua fresca de 12 a 13°C se pueden enfriar las botellas a aproximadamente 15°C, antes del proceso de llenado. Sólo por medio de la refrigeración del agua (por ejemplo, con cerveza) se pueden obtener menores temperaturas. Pero la botella enfriada se junta ahora con la bebida fría. Cuanto menor es la diferencia de temperatura entre ambas, tanto menor es el riesgo de espumado en las bebidas que contienen CO_2 –una manifestación temida–.

4. Pretratamiento de las botellas

La cerveza es extremadamente sensible frente a las menores trazas de oxígeno. El oxígeno remanente contribuye considerablemente a la oxidación de contenidos, de manera que en breve tiempo puede aparecer un sabor a envejecimiento en la cerveza envasada, debido a la formación de carbonilos de envejecimiento. Es por ello que se realizan grandes esfuerzos para eliminar, en lo posible totalmente, el aire existente normalmente en cualquier botella vacía. Sin embargo, esto no es para nada sencillo.

Por medio de un prebarrido a presión atmosférica con CO_2 y establecimiento de una contrapresión con CO_2 de 2 bar (m) (con una porción de CO_2 de 98,5%) se puede reducir considerablemente la porción de aire en la botella, pero no pueden alcanzarse valores óptimos debido a la mezcla de porciones de aire y de CO_2. Se trabaja hoy en día para ello óptimamente con una doble evacuación de las botellas con un vacío al 90% (un valor mayor implicaría técnicamente costos demasiado elevados) y doble prellenado de la botella con CO_2. De este modo es posible reducir el contenido de aire en la botella a alrededor del 1% de la cantidad original.

La Figura 5.19c muestra claramente la reducción diferenciada del contenido de aire con diferentes pretratamientos: La botella roja, que viene de la limpieza de botellas, aún está totalmente llena de aire y es sometida (verde) a una evacuación doble, de manera que el contenido de aire disminuye, pasando finalmente de más de 52 ml a alrededor de 0 ml. Sin embargo, si la misma botella es prebarrida desde el tanque anular con una mezcla CO_2/aire con una porción de CO_2 de 99% (azul), el contenido de aire disminuye primeramente a 56,68 ml, debido al prebarrido, y a alrededor de 5,67 ml, luego del establecimiento de la contrapresión. En tiempos recientes hasta se hace en algunas instalaciones una preevacuación triple, por lo cual el contenido de aire disminuye aún más. La absorción de O_2 en máquinas llenadoras modernas es de 0,02 mg de O_2/l.

Sin embargo, esta preevacuación múltiple no puede ser efectuada con recipientes de

5

paredes delgadas y consecuentemente sensibles al vacío (latas y botellas de PET), dado que se contraen bajo presión negativa. Por ello, en este caso se debe establecer una contrapresión con CO_2 o desplazar el aire de la botella por medio de válvulas con tubos de llenado largos y alcanzar una absorción de O_2 de 0,02 mg/l (ver Sección 5.3.4). Hoy en día se ofrecen cada vez más máquinas llenadoras de botellas, con las que se puede llenar botellas tanto de vidrio como de plástico.

Todas las máquinas llenadoras de botellas son construidas hoy en día (salvo unas pocas excepciones) como máquinas rotativas con hasta 200 válvulas de llenado. Interesa en esto:

- el principio de construcción de las máquinas llenadoras de botellas,
- componentes y piezas importantes de la máquina, y, particularmente,
- las válvulas de llenado y su modo de operación en el envasado de las bebidas.

5.1.4.2 Principios de diseño de las máquinas llenadoras de botellas

En su concepto básico, todas las llenadoras de botellas (Figura 5.20) están construidas de la misma manera:

- La base es el bastidor de la máquina con el accionamiento, desde el cual son accionadas de forma sincrónica, a través de engranajes, todas las partes rotatorias.
- El líquido a envasar, así como los gases de contrapresión necesarios, incluyendo las tuberías de evacuación, son dirigidos, a través de un distribuidor (11), al canal anular (8), en el cual se encuentran colocados los dispositivos de llenado (bebida por abajo, gases y retorno de CIP por arriba).

Las botellas ingresan una por una. Un tornillo sinfín separador las separa entre sí y son centradas sobre los platillos de los cilindros elevadores (3), debajo de los dispositivos de llenado (estrella de entrada). Luego de la circulación y el llenado, son dirigidas a

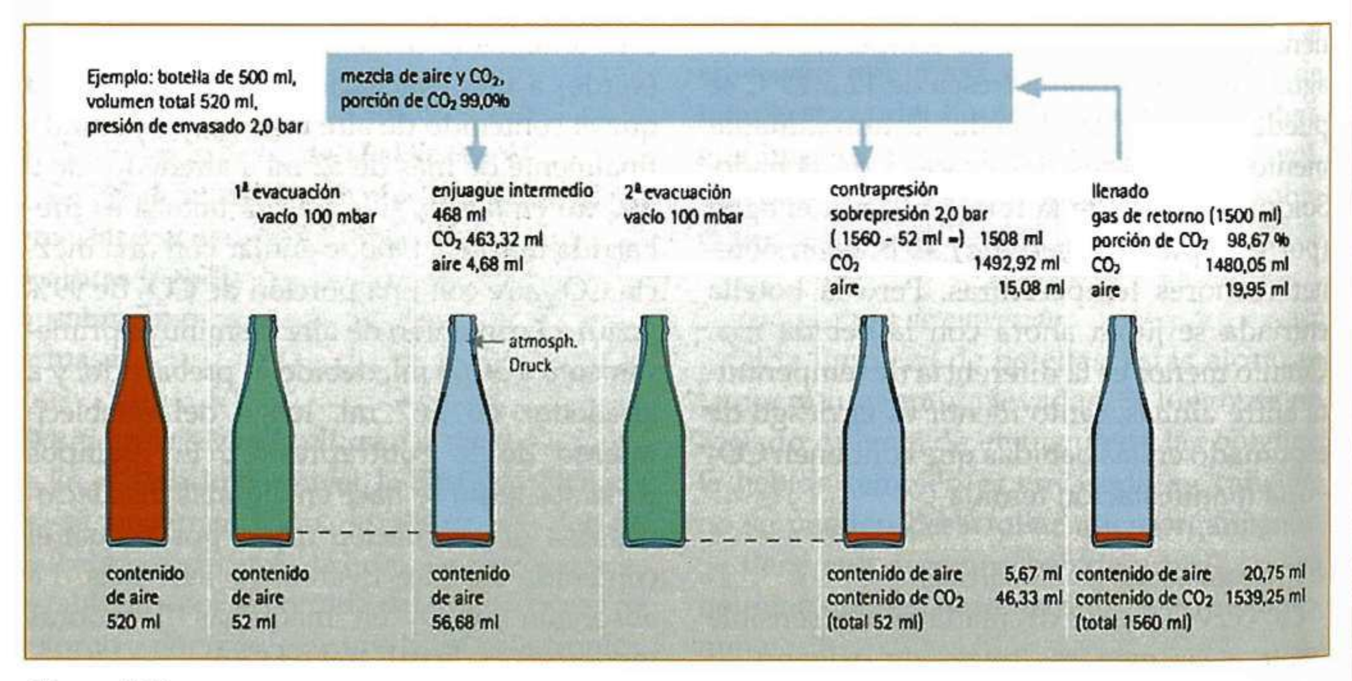


Figura 5.19c
Reducción de la porción de aire en la botella por medio de doble evacuación o prebarrido con CO_2

la padora (5-6) (estrella de transferencia) y cer idas. Posteriormente, las botellas son dir idas una por una a una cinta de placas art uladas, a través de una estrella de descar a.

E procedimiento de llenado en sí dura hoy en a ya sólo aproximadamente 5 a 6 segundos pero también el pre y el postratamiento de a botella requieren de algo de tiempo. Es por ello que mayores rendimientos horarios sólo son alcanzables con un mayor número de elementos llenadores y consecuentemente con un mayor diámetro de llenadora. El diámetro de este "carrusel" puede ser hoy en día 1,40 a 6,5 m, y son alcanzables rendimientos por encima de 100 000 botellas/h.

Dado que las llenadoras deben ser transportadas, su diámetro está limitado a un máximo de aproximadamente 6,5m. En el caso de 200 puntos de llenado resulta una división en arcos de aproximadamente 100 mm. Cuanto más grande es el diámetro de botella, tanto

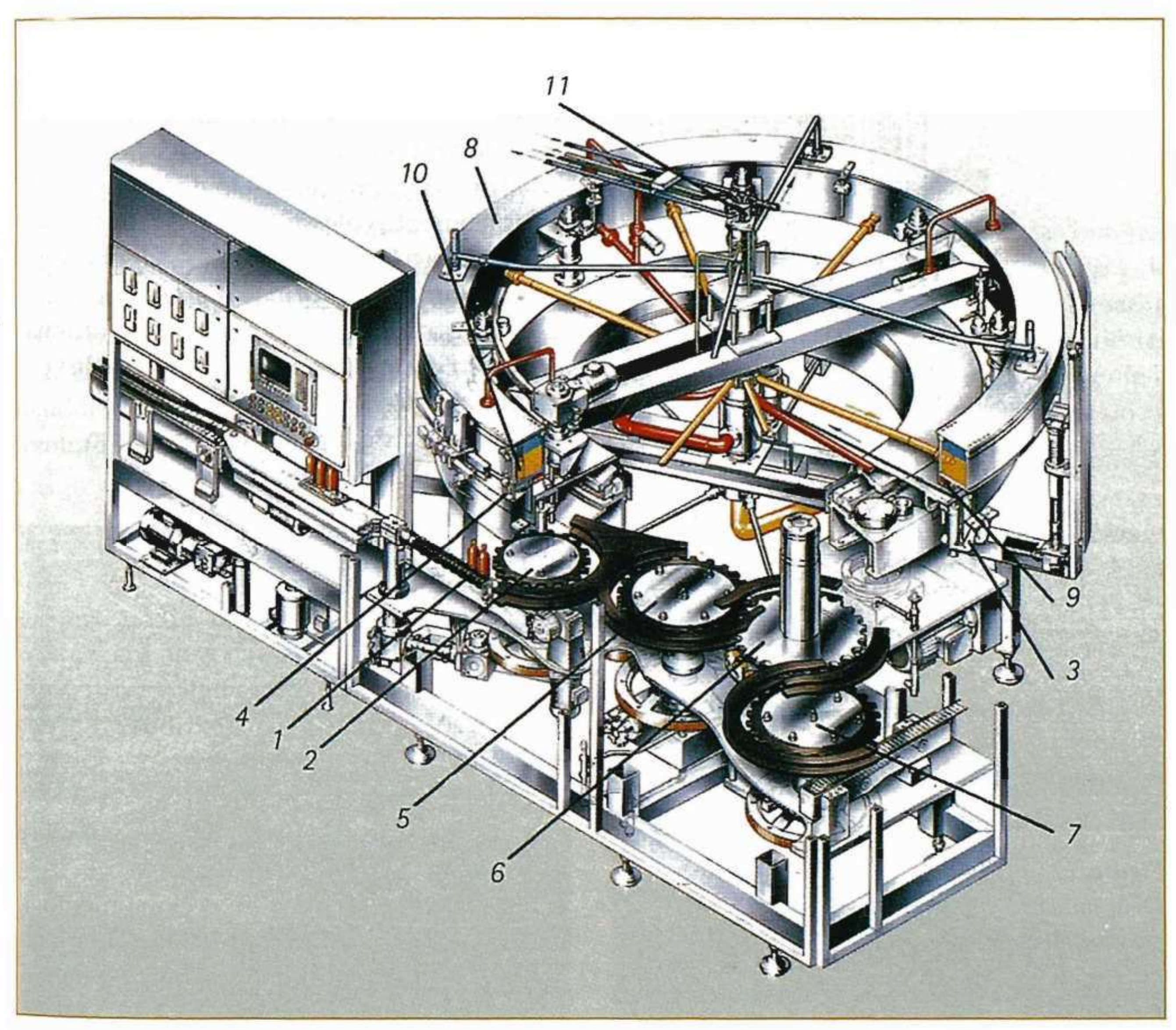


Figura 5.20: Máquina llenadora de botellas (abierta en corte)
(1) tornillo sinfín separador, (2) estrella de entrada, (3) dispositivo elevador, (4) tulipa de centrado, (5) estrella intermedia, (6) estrella tapadora, (7) estrella de salida, (8) tanque anular, (9) canal de vacío, (10) válvula de llenado, (11) distribuidor giratorio.

más lugar requiere cada botella individual y tanto menor es la cantidad de válvulas llenadoras a igual diámetro de máquina llenadora.

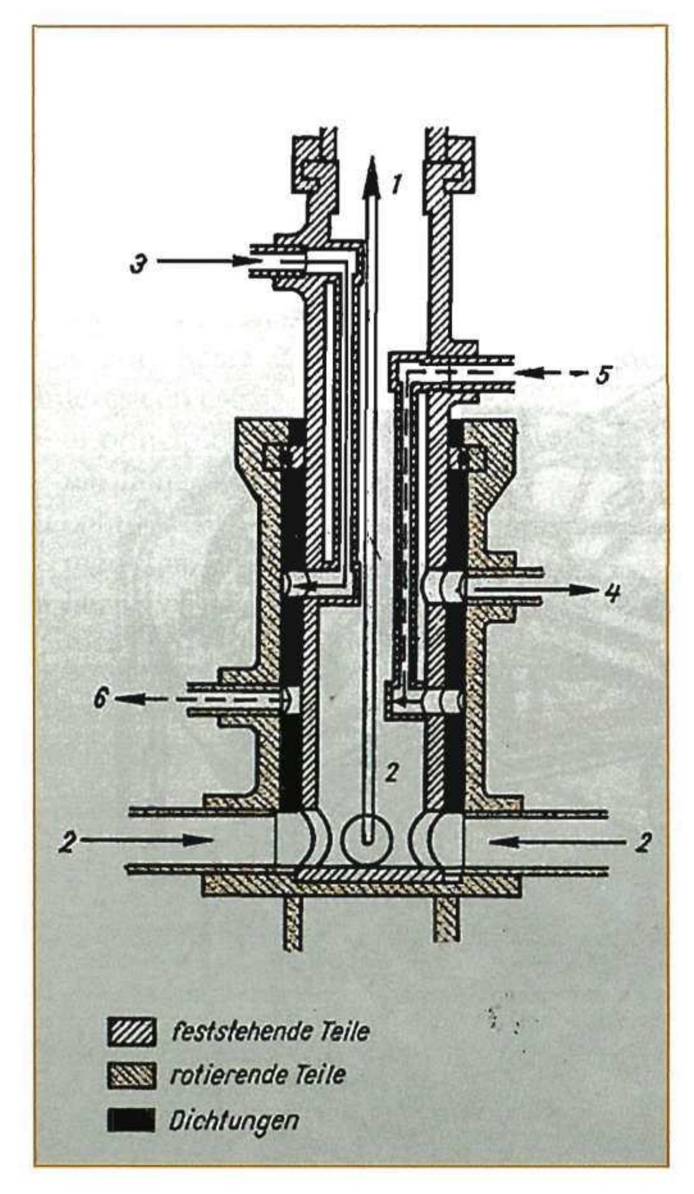


Figura 5.21
Distribuidor
(1) tubería de salida para vacío,
(2) tubería de entrada para vacío,
(3) tubería de suministro de CO_2,
(4) tubería de salida de CO_2,
(5) tubería de suministro de aire comprimido de apriete,
(6) tubería de salida de aire comprimido de apriete.

5.1.4.3 Componentes esenciales de las máquinas llenadoras de botellas

Es necesario llenar las botellas lo más rápidamente posible y taponarlas luego inmediatamente. Por ese motivo, hoy en día, las máquinas llenadoras están unificadas con las máquinas tapadoras (en bloque) y deben ser consideradas por ello de forma conjunta.

De los componentes y piezas esenciales de las máquinas llenadoras interesan particularmente:

- el accionamiento de la máquina,
- la alimentación de los medios a la llenadora,
- la introducción, el manipuleo y la descarga de las botellas,
- la construcción y el modo de operación de los elementos elevadores,
- la regulación de altura y la adaptación a otros tamaños y formas de botellas,
- la construcción y el modo de funcionamiento de los dispositivos de llenado,
- el taponado de las botellas llenas,
- la limpieza de la máquina, así como
- las instrucciones de operación.

Accionamiento de las máquinas llenadoras de botellas

El accionamiento de las máquinas llenadoras y tapadoras se realiza hoy en día a través de un motor trifásico regulado por frecuencia, cuyo par motor se distribuye en dos caminos a partir del engranaje:

- a través de un árbol articulado, de velocidad constante, a la unión de rotación sobre bolas del carrusel de llenado,
- a través de otro nivel de accionamiento, a la tapadora, las estrellas de entrada y salida, y el accionamiento del tornillo sinfín separador en la entrada.

Las ruedas dentadas son fabricadas hoy en día parcialmente de plástico resistente al desgaste y son con ello extremadamente silenciosas. Los dentados y una lubricación

óptima garantizan una muy buena suavidad de marcha.

Suministro de los medios a la llenadora

Mientras la parte superior de la llenadora gira permanentemente, es necesario que sean suministrados, respectivamente evacuados, también permanentemente, todos los medios. Esto incluye:

- el suministro de los medios a envasar, por abajo: cerveza u otras bebidas,
- el suministro del gas de contrapresión CO_2,
- el suministro de aire comprimido,
- el suministro de vapor (si es necesario),
- la salida de aire para la generación de vacío (si es necesario),
- el retorno de CIP, etc.

Estos medios deben ser suministrados al rotor de forma coaxial, a través de tuberías rígidas, pasando por distribuidores giratorios. Esto es así porque, debido a la rotación, no es posible una conexión por manguera.

El suministro ocurre a través de un distribuidor de medios (Figura 5.21), que está fijo, centrado con respecto al tanque. La altura de bebida en el tanque llenador es regulada por un par de flotadores. A los efectos de impedir un intercambio de substancias entre los diferentes medios en el distribuidor:

- las superficies de sello son especialmente resistentes al desgaste y duras, y
- se utilizan juntas especiales de prolongada vida útil para prevenir de forma confiable el mezclado de medios aun bajo condiciones extremas de envasado.

En el caso de llenadoras controladas por ordenador, también éste se encuentra instalado pivotante sobre la llenadora y controla desde allí todos los procesos en los dispositivos de llenado.

Introducción, manipuleo y descarga de las botellas

Es necesario transportar todas las botellas uniformemente, con bajo nivel de ruido y de forma segura, hasta los elementos llenadores. Lo mismo rige para la descarga de las botellas llenas a la tapadora y finalmente a una cinta de descarga, de placas articuladas.

El tornillo sinfín separador separa las

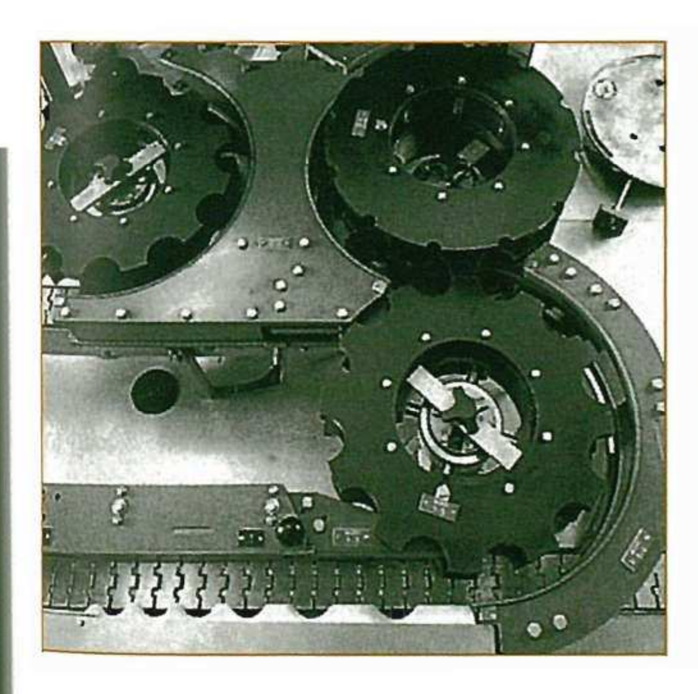


Figura 5.22
Estrella de entrada y salida

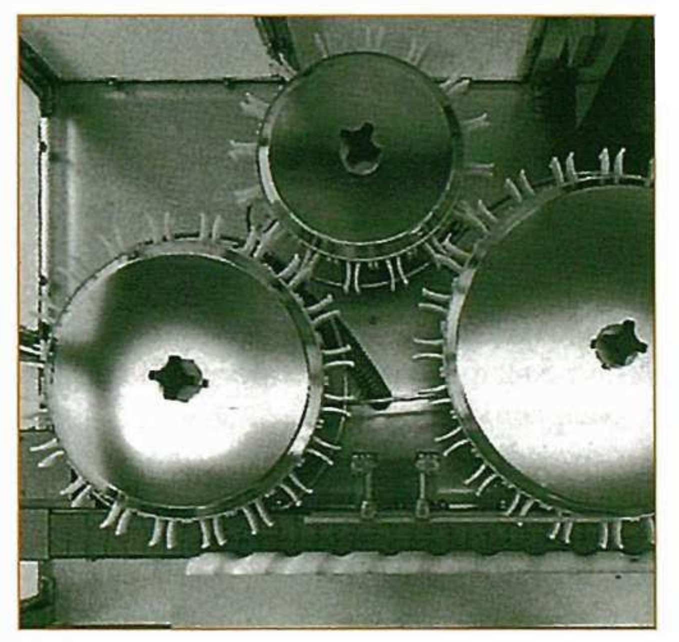


Figura 5.22a
Estrella de entrada y salida como estrella sujetadora

botellas ingresantes en distancias tales que esté garantizada una transferencia precisa y sin problemas a la estrella de entrada que gira de forma sincrónica (Figuras 5.22 y 5.22a). Dado que las botellas tienen la tendencia a moverse hacia afuera debido a la fuerza radial producida, son guiadas sin rozamiento y desgaste por medio de piezas preformadas de plástico. El temido scuffing, por el contrario, sólo se produce en el rozamiento recíproco de las botellas con los anillos de rozamiento, pero no si son transportadas individualmente.

También la descarga de las botellas de vidrio ocurre ampliamente sin problemas. Para el taponado, las botellas son suministradas por la estrella de salida a la estrella tapadora, que gira sincrónicamente con aquella, y se las tapona. Si todas las transferencias están coordinadas de forma exacta, están dadas todas las precondiciones para una entrada y salida cuidadosas de las botellas de vidrio.

Construcción y modo de operación de los elementos elevadores

Las botellas centradas debajo de las válvulas de llenado deben ahora ser elevadas de forma rápida y segura, y presionadas herméticamente contra la válvula de llenado. Luego del proceso de llenado, las botellas aun abiertas deben ser descendidas de manera tal que no se produzcan golpes y que no pueda escapar CO_2.

Los elementos elevadores trabajan según el principio neumático-mecánico:

- las botellas son elevadas por medio de aire comprimido y
- descendidas mecánicamente a través de una leva, luego del llenado.

En la mayoría de los elementos elevadores, el movimiento de elevación es lo más corto posible para lograr un rápido posicionamiento de las botellas en las válvulas de llenado. Luego del presionado del dispositivo de elevación contra la válvula de llenado, se inician los procesos para el llenado (Figura 5.23) (ver al respecto: "Construcción y modo de funcionamiento de los dispositivos de llenado").

Luego de la finalización del proceso de llenado, las botellas son bajadas en el área de salida a través de una leva, que hace descender un rodillo deslizante en el elemento de elevación, primero rápidamente, pero luego cada vez más lentamente. El aire comprimido es retornado a presión a la tubería, de manera que el consumo de aire comprimido pueda ser minimizado.

Regulación de altura y la adaptación a otros tamaños y formas de botellas

Hoy en día es usual envasar en botellas de diferentes tamaños y formas con la misma instalación. El mercado requiere frecuentemente un rápido cambio de tamaño y forma de botella. Los prolongados tiempos de preparación obstaculizan y disminuyen la efectividad de la instalación. Las instalaciones modernas de envasado en botellas, con las cuales se debe envasar en diferentes tamaños de botellas, disponen por ello generalmente de una regulación de altura.

En una regulación de altura, la parte superior de la llenadora con el tanque anular y las válvulas de llenado son elevadas a la altura necesaria por medio de husillos y corona dentada. Para ello, la altura de botella para diferentes tipos de botellas es entrada en el ordenador, de manera que la preparación a otro tamaño de botella pueda ocurrir en el menor tiempo posible. Alternativamente, existen el ajuste y el control manual de la altura del dispositivo de llenado.

5.1.4.4 Construcción y modo de funcionamiento de los dispositivos de llenado

El llenado de las botellas es naturalmente el proceso más importante. Deben permanecer invariables todos los parámetros de cali-

da de la bebida a envasar. Para lograrlo, los dispositivos de llenado son también muy distintos en construcción y funcionamiento, dependiendo de las diferentes exigencias impuestas por las bebidas.

Las válvulas de llenado son sistemas de construcción muy complicada, con desarrollo muy diferente, cuyos componentes son descriptos separadamente. Éstos incluyen:

- la tulipa centradora,
- las válvulas de llenado con tubo de llenado largo (llenador de tubo largo),
- las válvulas de llenado con tubo de retorno corto (llenador de tubo corto),
- las válvulas de llenado con sonda de llenado (llenador de tubo corto),
- el control de las válvulas y
- el llenado volumétrico.

Básicamente, se distingue hoy entre:

- válvulas controladas mecánicamente y
- válvulas controladas por ordenador.

El control se realiza a través de sensores o caudalímetros magneto-inductivos.

Tulipa centradora

Hay dos posibilidades para juntar la botella con la válvula de llenado:

- se eleva la botella y se la presiona contra la válvula o
- la válvula es descendida sobre la botella.

Veremos que la segunda posibilidad es utilizada en el llenado de latas. En el llenado de botellas siempre se eleva la botella. Pero para lograr un correcto centrado de las botellas en el dispositivo de llenado se intercala una tulipa centradora, que es arrastrada hacia arriba por la botella en elevación (Figura 5.24). La tulipa centradora centra la botella en el medio del dispositivo de llenado y la sella contra éste.

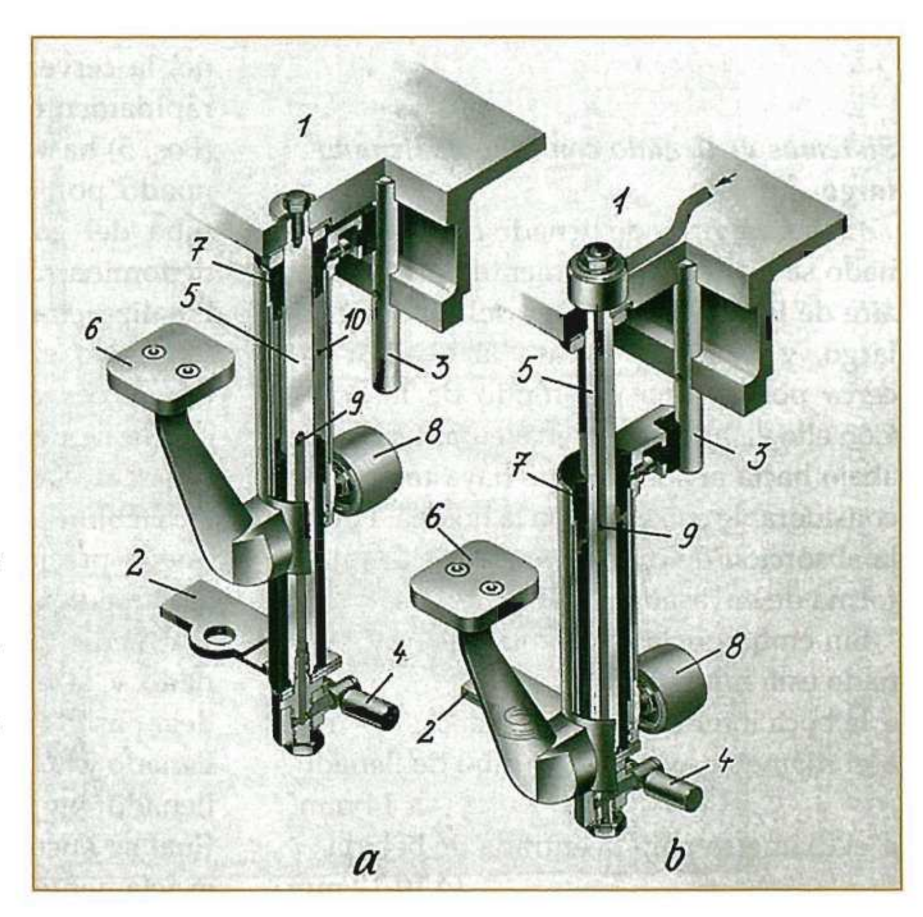


Figura 5.23
Elementos de elevación
(1) soporte superior,
(2) soporte inferior,
(3) guía lateral,
(4) conexión de aire comprimido,
(5) vástago fijo de émbolo,
(6) platillo elevador,
(7) émbolo elevador,
(8) rodillo móvil unido al platillo elevador,
(9) entrada y salida de aire comprimido,
(10) aire comprimido para elevación de la botella,
(a) elevada,
(b) descendida.



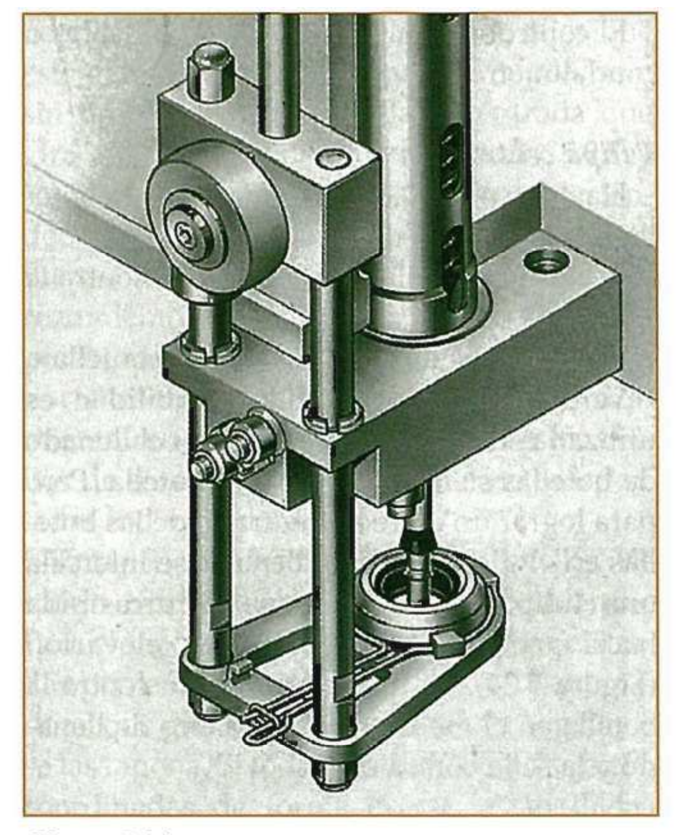


Figura 5.24
Tulipa centradora con guía

Sistemas de llenado con tubo de llenado largo

En las válvulas de llenado con tubo de llenado se extrae primeramente por barrido el aire de la botella, a través del tubo llenador largo, y luego se envasa la cerveza muy cerca por encima del fondo de la botella. Con ello, la botella se llena lentamente desde abajo hacia arriba sin que haya un contacto considerable con el gas en la botella. Por ello, la absorción de oxígeno es reducida en esta forma de envasado.

Sin embargo, la sección transversal de llenado está limitada por:

- la boca interior de la botella Ø ≤ 17 mm.
- el diámetro exterior del tubo de llenado ≤ 14 mm.
- el diámetro para la entrada de bebida Ø 10-12 mm.

Como ejemplo de un llenador con tubo de llenado largo, se cita aquí el Innofill DRI-B (KHS Dortmund) (Figura 5.25). En el proceso de llenado, la botella primeramente no es presionada totalmente contra el dispositivo de llenado, de manera que el CO_2 introducido desde el tanque pueda barrer la botella; así, el oxígeno es eliminado casi totalmente (Pos. 1). Luego, la botella es presionada fuertemente contra el dispositivo de llenado y se introduce CO_2, a través de la válvula de gas de retorno, y se establece una contrapresión en la botella (Pos. 2). Poco tiempo después, la presión en la botella es llevada con CO_2 a la misma presión que reina en el tanque (establecimiento de presión) (Pos. 3) y la cerveza es introducida por el fondo de la botella a través del tubo de llenado (Pos. 4). Dado que primeramente sólo está abierto el tubo de gas de alivio, la cerveza ingresa fluyendo lentamente al principio e impide de esta manera un espumado. Por medio de la apertura adicional del tubo de gas de retorno, de mayor tamaño, la cerveza fluye a partir de ahora más rápidamente hacia el interior de la botella (Pos. 5) hasta que el flujo de cerveza es atenuado por medio de un nuevo cierre del tubo del gas de retorno (6). Esta fase se denomina fase de frenado o de corrección. Finaliza cuando el caudalímetro magneto-inductivo, el cual sólo se deja entrever en el dibujo como pared doble, ha determinado exactamente la cantidad establecida. En ese momento la válvula de cerveza cierra (Pos. 7). Debido al prealivio y calmado se logra que la presión en la botella descienda sólo lentamente e impida un espumado (Pos. 8). Por medio del descenso de la válvula de llenado y la apertura de un canal lateral se deja pasar aire por debajo de la válvula de llenado y la cerveza remanente en el tubo de llenado ingresa todavía en la botella. Al final se encuentra en la botella la cantidad exactamente establecida (Pos. 9).

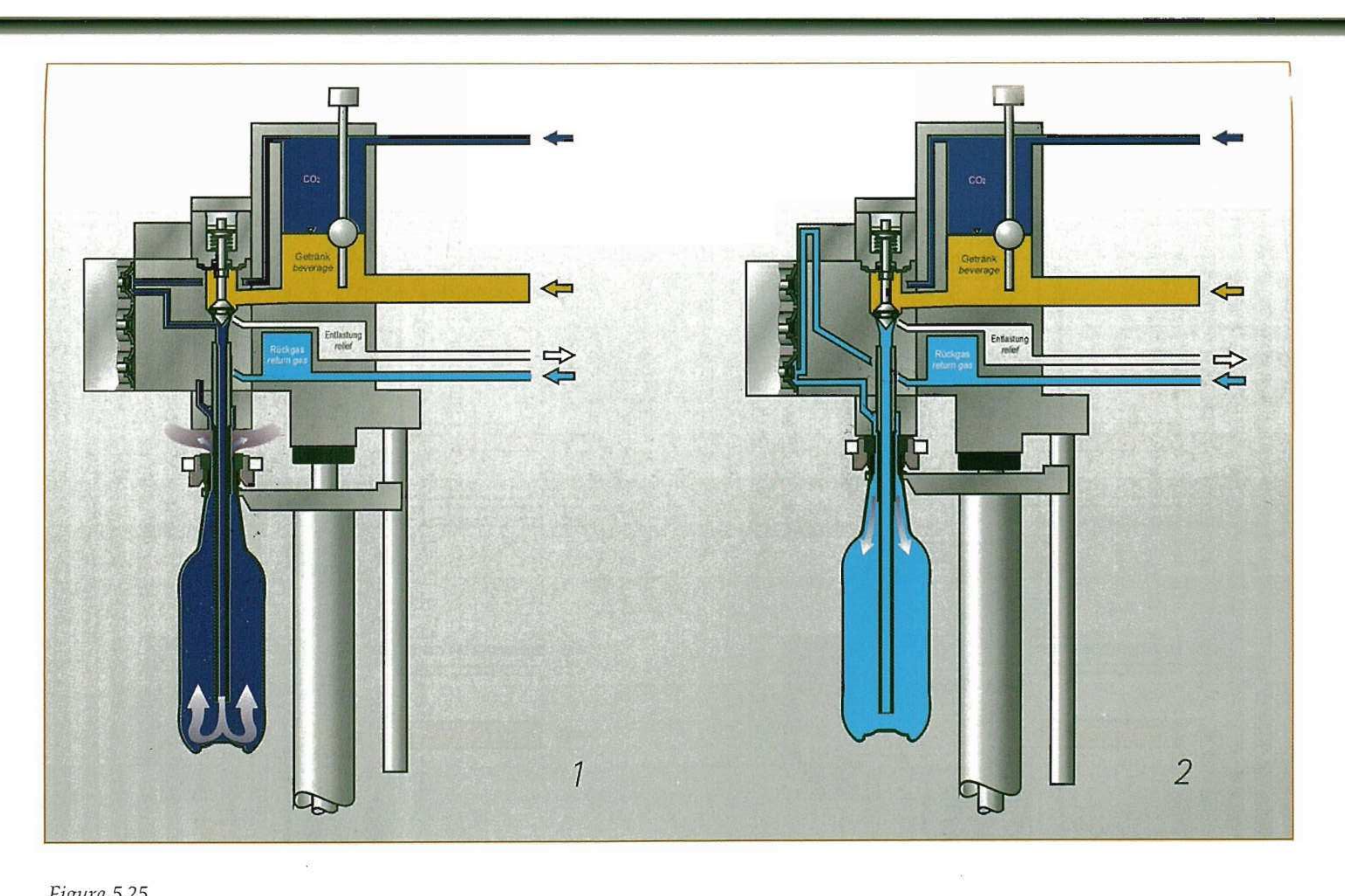
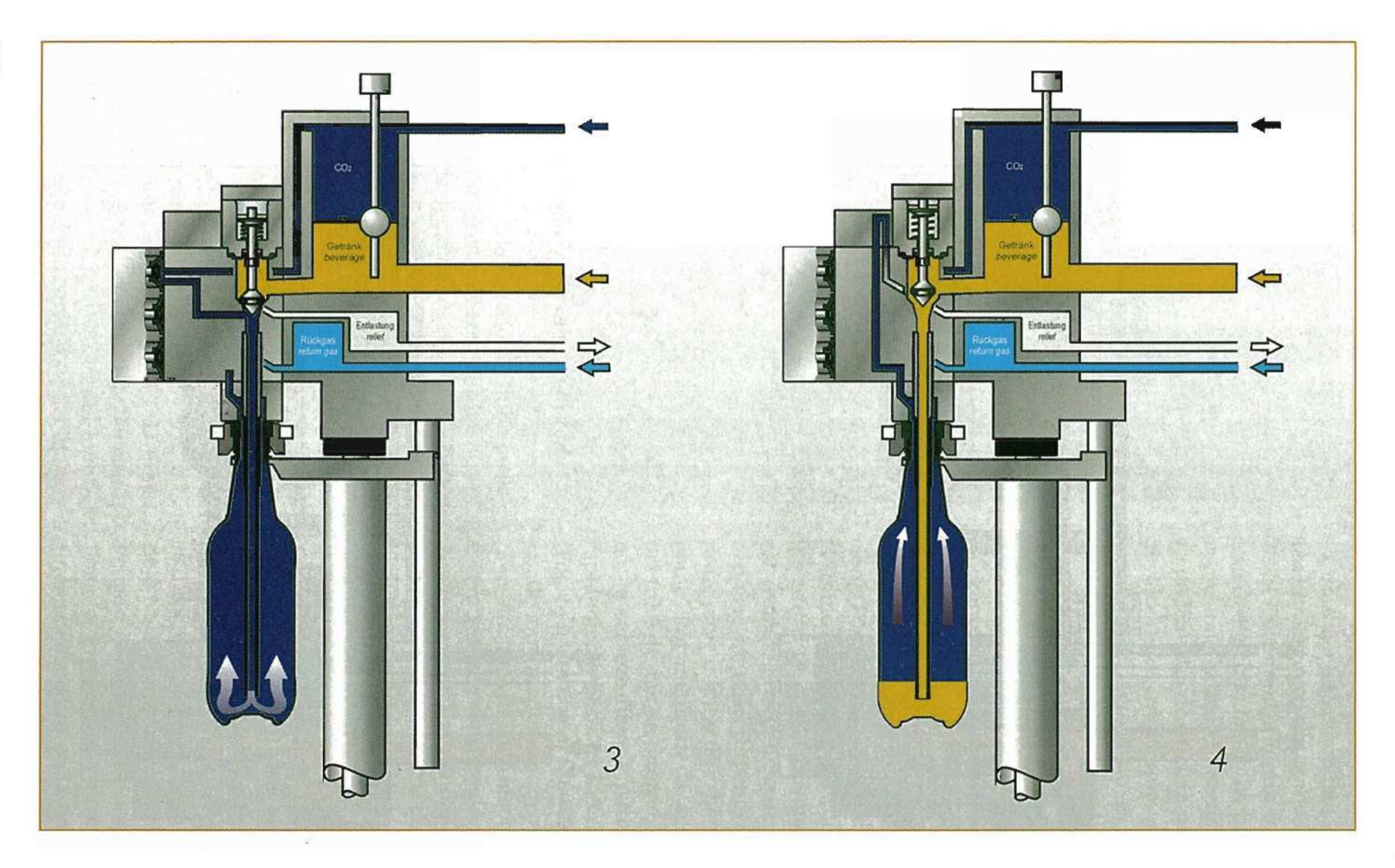
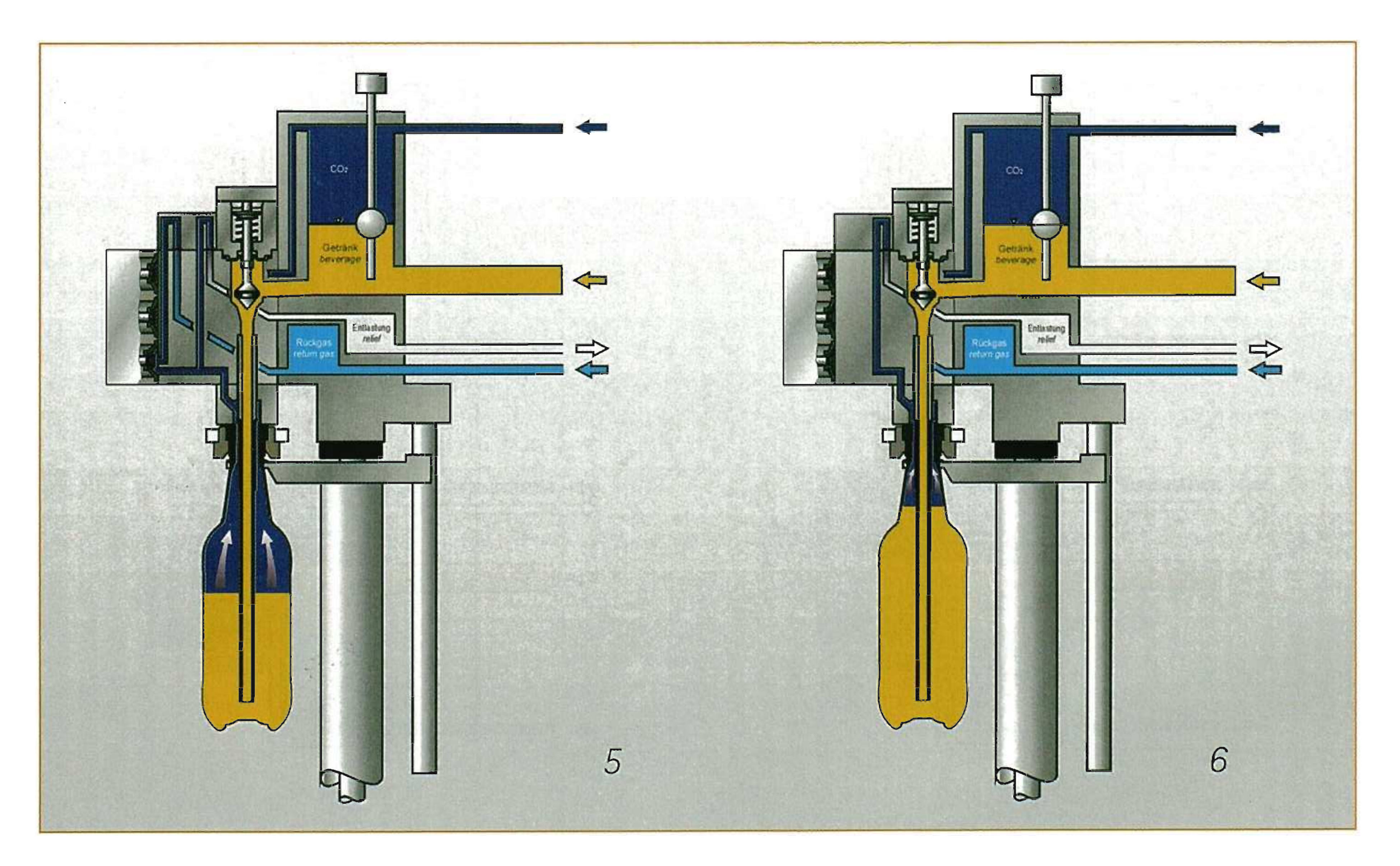


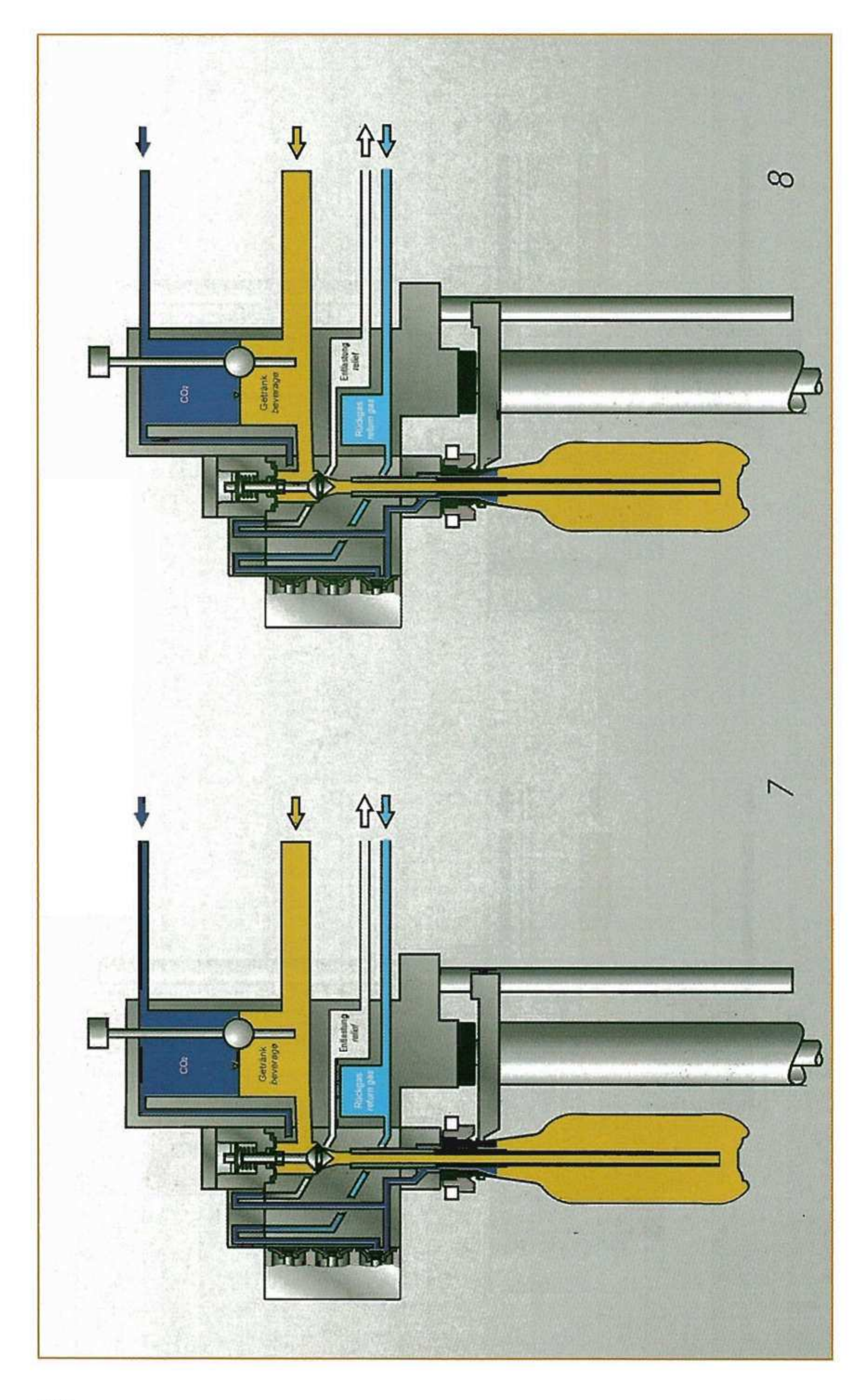
Figura 5.25
Llenador de tubo de llenado Innofill DRF, controlado por ordenador
Explicaciones en el texto



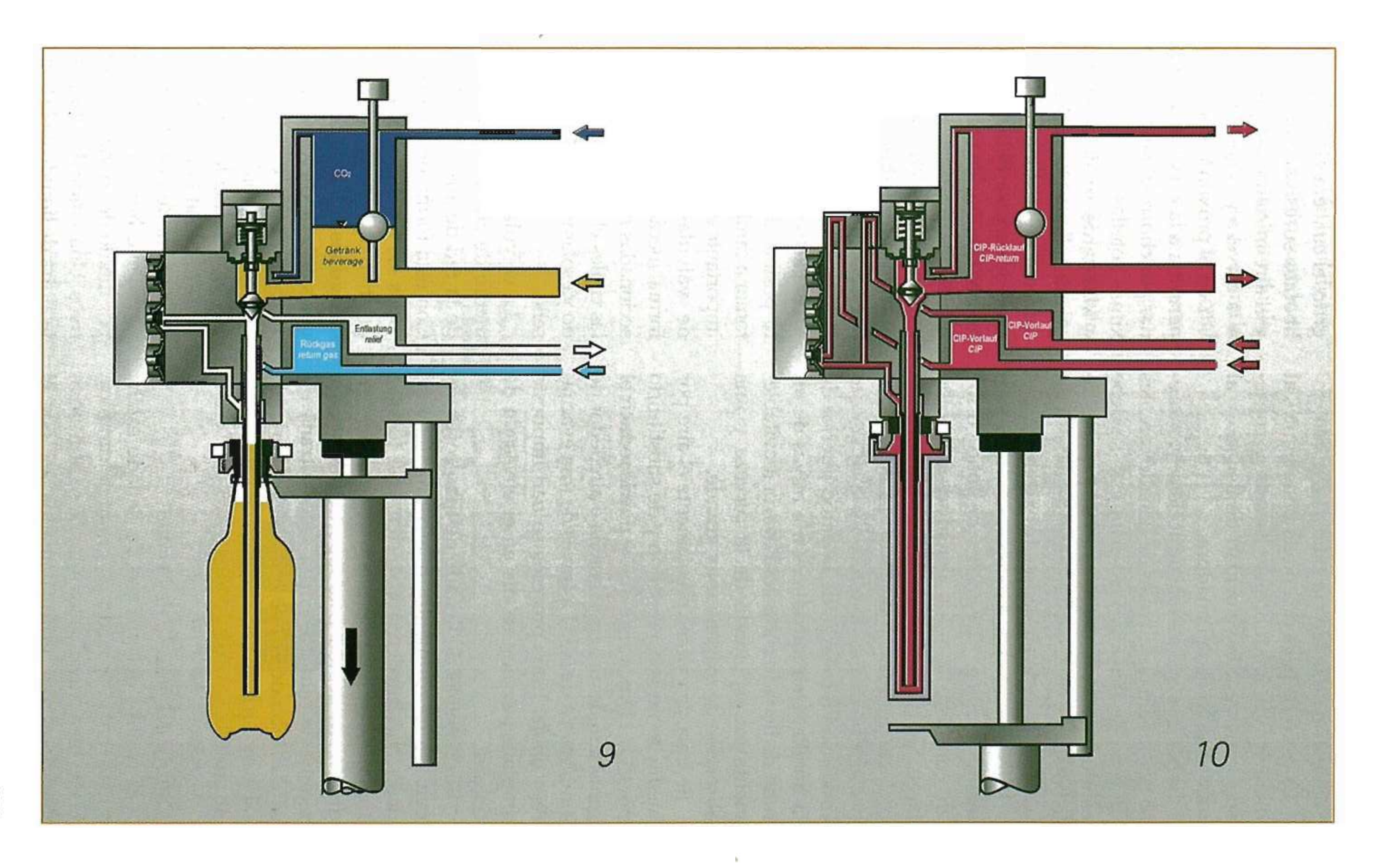
CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
3
CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
4



CO₂
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
5
CO₂
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
6



CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
8
CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
7


CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
Rückgas
return gas
9
CIP-Rücklauf
CIP-return
CIP-Vorlauf
CIP
CIP-Vorlauf
CIP
10

5

Sistemas de llenado sin tubo de llenado

La estrecha boca de botella pone límites al diámetro de los tubos de llenado y consecuentemente a la velocidad de llenado y al rendimiento de la llenadora.

Es por ello que se trata de acelerar el proceso por medio de válvulas de llenado carentes de tubo de llenado. Pero para esto se debe conducir la cerveza a lo largo de la pared de la botella, lo cual inevitablemente conlleva un mayor riesgo de absorción de oxígeno.

Estos llenadores se denominan frecuentemente también "llenadores de tubo corto" en contraste con los llenadores de tubo largo. Sin embargo, esta denominación no es correcta porque el tubo corto visible es siempre el tubo de gas de retorno y la cerveza es conducida a lo largo de la pared interior de la botella. Una introducción a través de un tubo de llenado corto conllevaría inevitablemente un espumado de la cerveza y una absorción de oxígeno muy grande.

Se trata de extraer previamente el aire por medio de un vacío repetido y de substituirlo por CO_2. Hemos visto que se puede reducir el contenido de aire en la botella a alrededor de 4 ml/botella de 0,33 l a través de una evacuación doble. Estos procesos se han impuesto ampliamente hoy en día en el envasado de cerveza.

Los sistemas de llenado de tubo corto tienen un rendimiento relativamente alto, dado que pueden aprovechar casi toda la superficie de boca de la botella para la introducción de bebida. Esta superficie de boca se reduce únicamente por la sección transversal del tubo de gas de retorno. Un borboteo tal como en el rociado de botellas está excluido aquí.

Control del proceso de llenado

El control del proceso de llenado estaba sujeto en el pasado a grandes cambios. Hasta bien entrados los años 50 se utilizaban llenadores por grifo, llamados así por el grifo, el cual era girado pasando por topes y liberaba sucesivamente:

- el aire inicialmente presente,
- la cerveza y el gas de retorno.

Y en el próximo procedimiento de llenado permitía a la cerveza encima del grifo retornar por chorro al tanque y con ello a las próximas botellas.

Más tarde se desarrollaron válvulas que permitían un accionamiento desde afuera únicamente en la zona de gas por encima del nivel de cerveza. Si bien con ello la cerveza ya no podía entrar en contacto con partes accionables desde afuera, estaba sin embargo permanentemente en contacto con diferentes muelles y otros insertos, lo cual no tiene un buen efecto desde el punto de vista de la contaminación.

Por ello se hacían esfuerzos para librarse en lo posible de los muelles y otros insertos y tomar a cambio otros tipos de control. Un paso importante en esa dirección era la substitución de válvulas accionadas externamente de forma mecánica por válvulas de membrana accionadas neumáticamente (Figura 5.27), en las cuales el gas de contrapresión es conducido ya solamente a lo largo de la membrana de sello.

La válvula de membrana es accionada por medio de aire de control (neumáticamente) de la red de aire comprimido (Figura 5.28). Con esta forma de control se pueden evitar todos los muelles y otros insertos en el dispositivo de llenado.

Algunos tipos de llenadores disponen de una salida de cerveza con un inserto de rotación; esto es un cono de forma particular, el cual causa, debido a su forma, que la cerveza sea conducida rotando por la pared y fluya desde allí hacia abajo.

La altura de llenado es controlada electrónicamente hoy en día en muchos modelos por medio de sondas o caudalímetros inductivos. Una sonda de altura de llenado detecta la altura de líquido en la botella por medio de

sensores y reduce la alimentación total de cerveza hacia la fase de llenado lento cuando se ha alcanzado una determinada altura de llenado. El cierre final y exacto de la entrada también ocurre por medio de la sonda, la cual es mecánicamente muy sensible y se encuentra por ello ubicada dentro de un tubo protector (tubo de aire).

Según el control del llenado de la botella, se distingue por ello entre aquellos en los cuales la cerveza en la botella:

- sube hasta el final del tubo de gas de retorno porque el aire que está por encima ya no puede escapar (válvulas de llenado controladas mecánicamente) o
- sube hasta una sonda que cierra la alimentación (válvula de llenado controlada por ordenador).

Ambos sistemas pueden ser encontrados en las fábricas de cerveza.

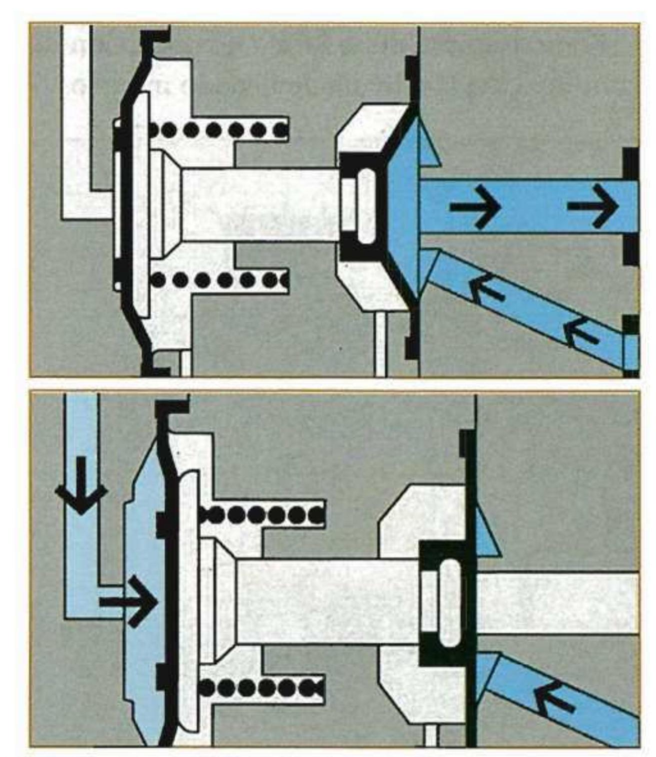


Figura 5.27: *Válvulas de membrana accionadas neumáticamente*

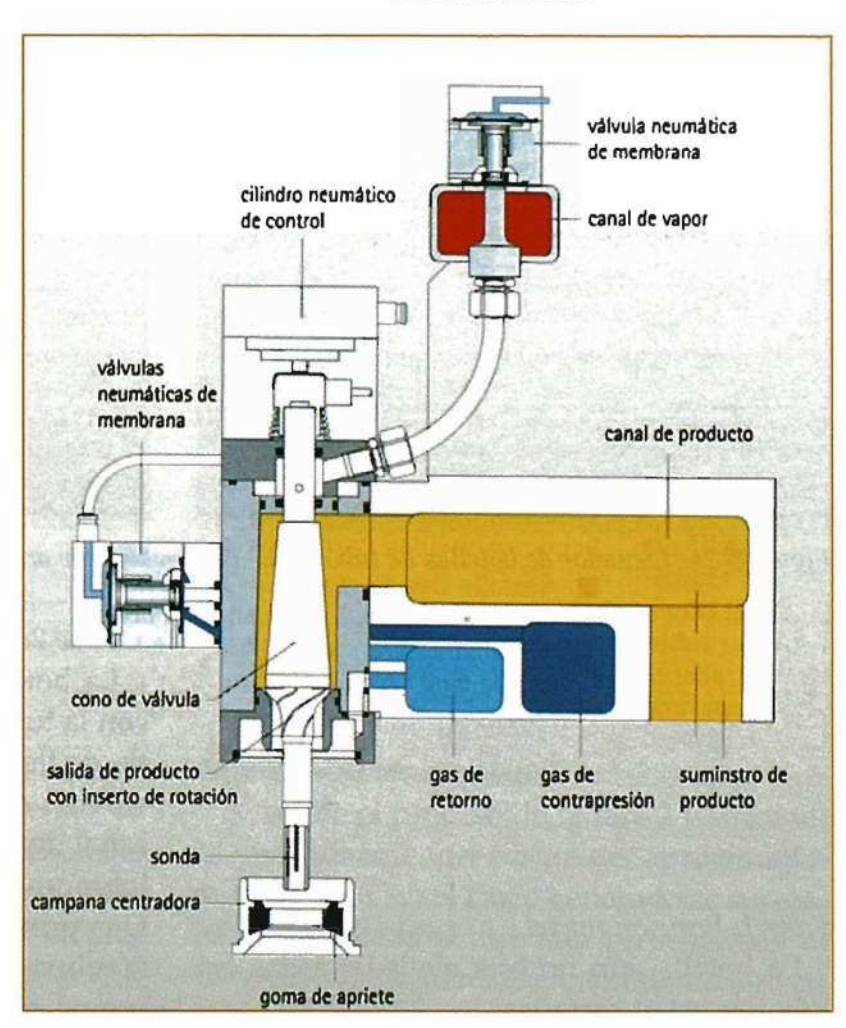
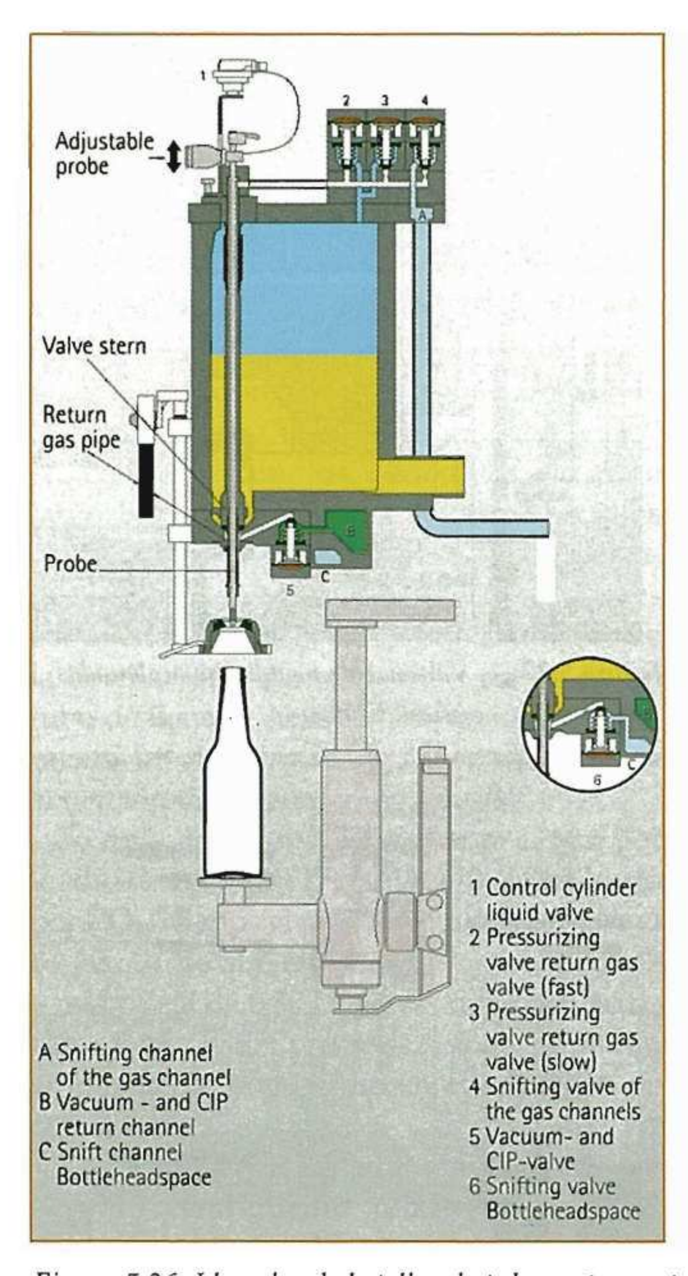


Figura 5.28
Control neumático de las válvulas de membrana
Las válvulas de control neumáticas son abiertas o cerradas por parte del control en el momento requerido.

Como ejemplo de la forma de operación de una válvula controlada por ordenador se presenta a continuación la válvula de llenado modelo VP-VI (Empresa Krones, Neutraubling) (Figura 5.26):



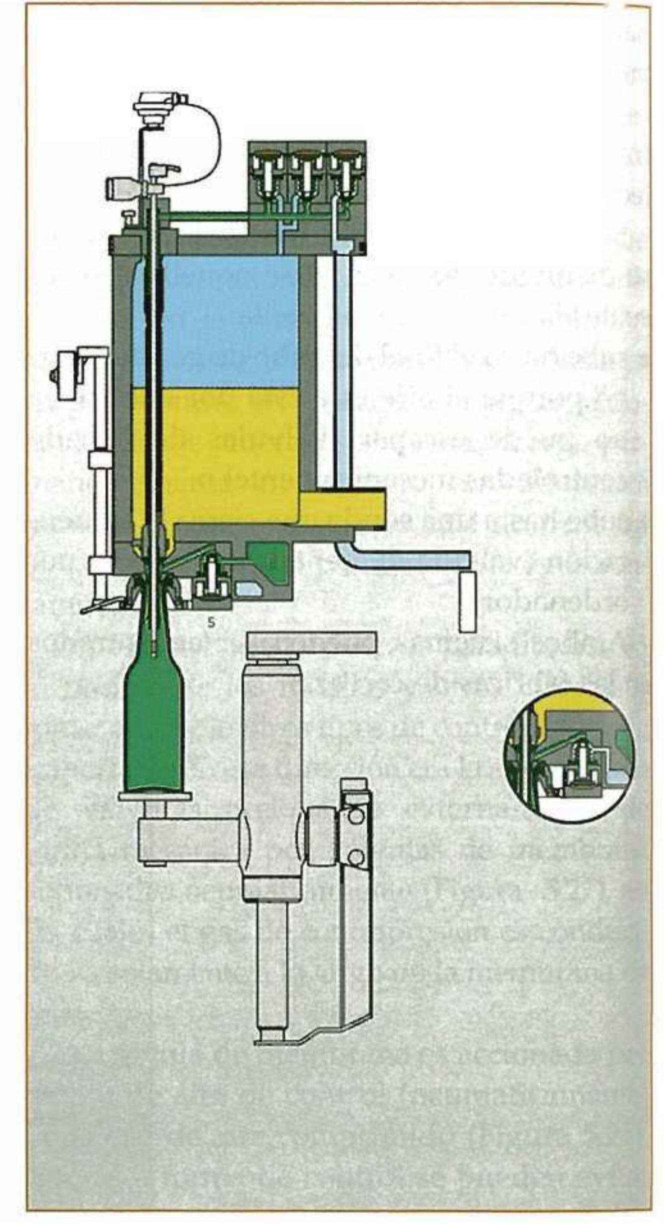


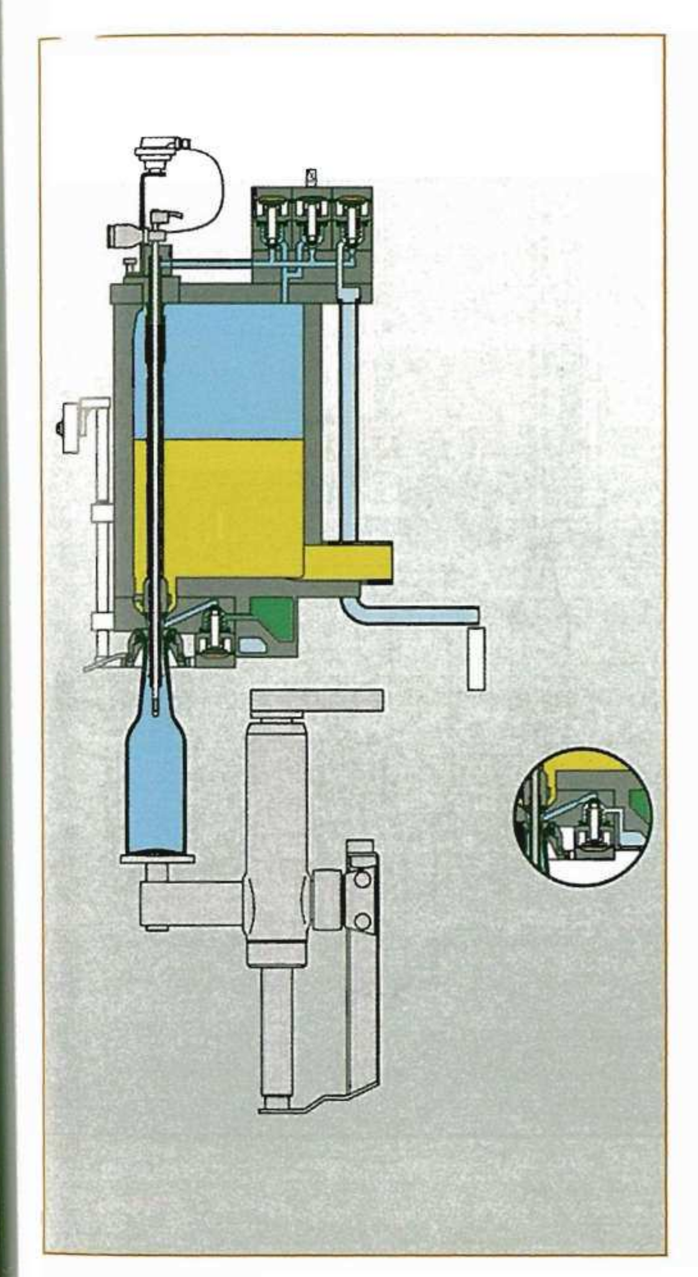
Figura 5.26: Llenador de botellas de tubo corto, controlado por ordenador

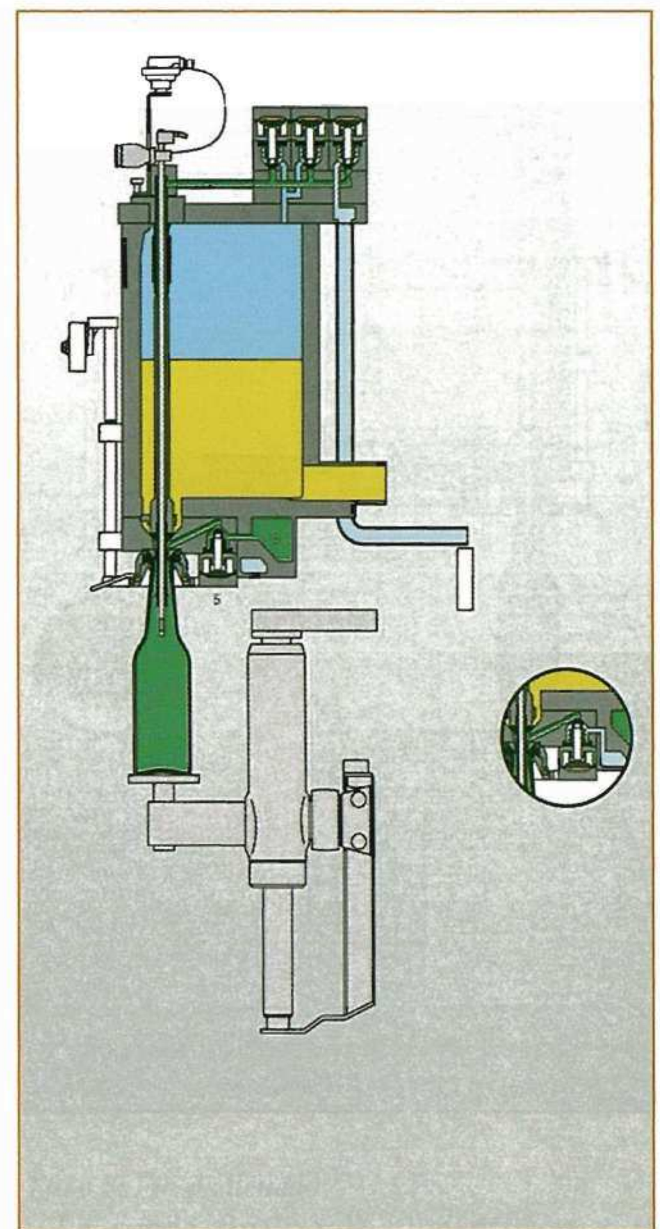
Fase 1: Posición inicial

La botella aún no está elevada; todas las tuberías están cerradas.

Fase 2: Primera evacuación

La botella es presionada herméticamente con la tulipa de centrado contra el dispositivo de llenado, y se abre neumáticamente la válvula de vacío (5); el aire es conducido al canal de vacío (B) y en muy breve tiempo se logra una evacuación del 90% de la botella. Una protección de vacío, que es elevada con la tulipa de entrado, previene que el vacío se rompa cuando no se eleva botella alguna.



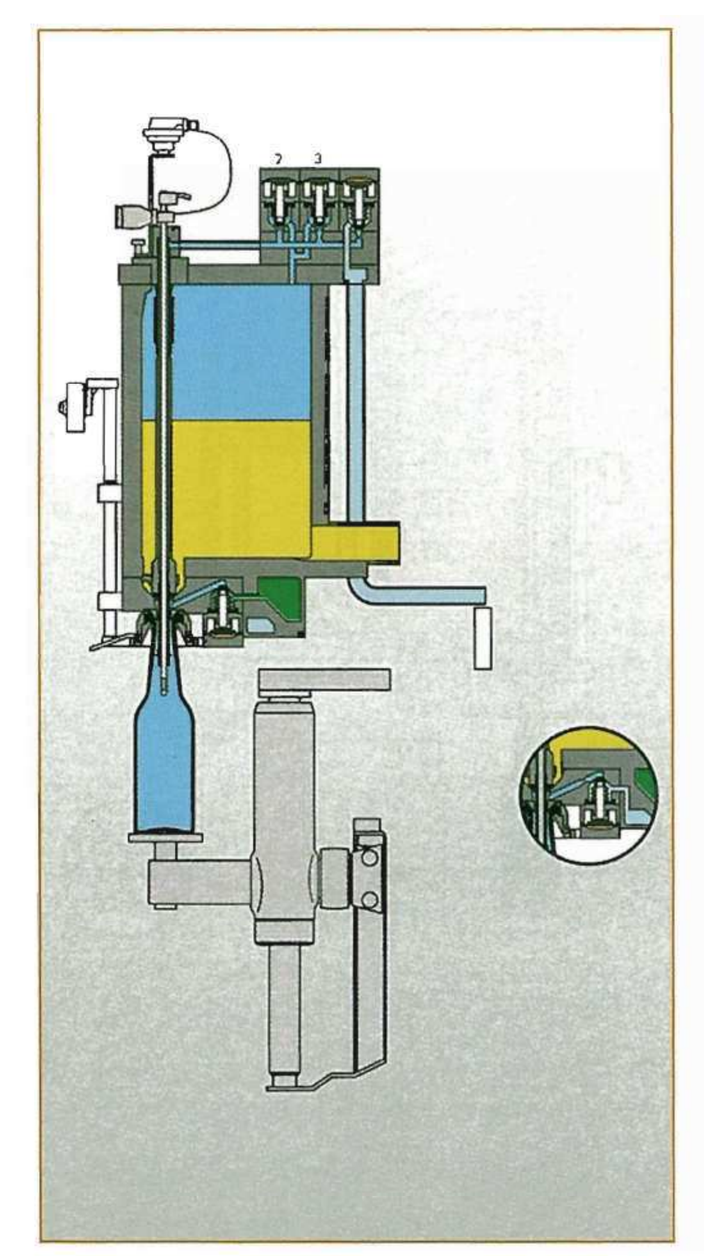


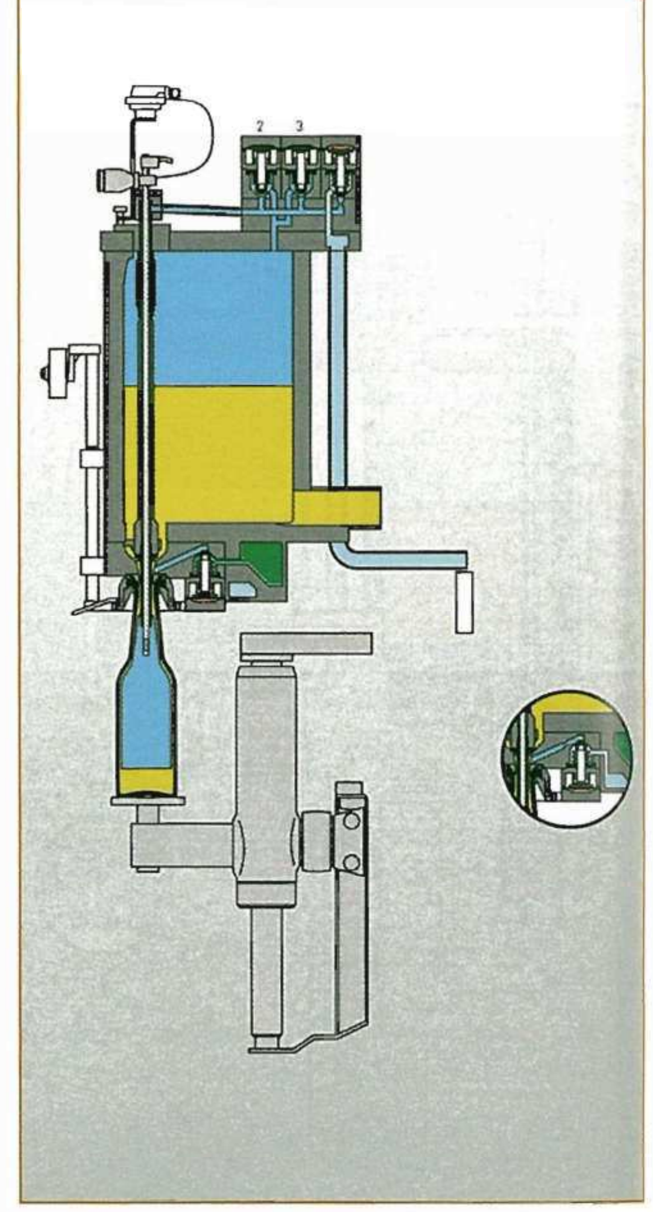
Fase 3: Barrido intermedio con CO_2

La válvula de contrapresión (3) es abierta y se conduce CO_2 del tanque de la llenadora a la botella y ésta es barrida con CO_2. Este proceso es sólo muy breve y es finalizado nuevamente al cabo de poco tiempo. La presión en la botella aumenta aproximadamente hasta la presión atmosférica.

Fase 4: Segunda evacuación

Se repite el proceso de la fase 2 y se genera nuevamente un vacío de aproximadamente 90%. Con el vacío generado se succiona de la botella el aire aún presente con el CO_2; de esta manera, el contenido de aire en la botella desciende a aproximadamente 1%.



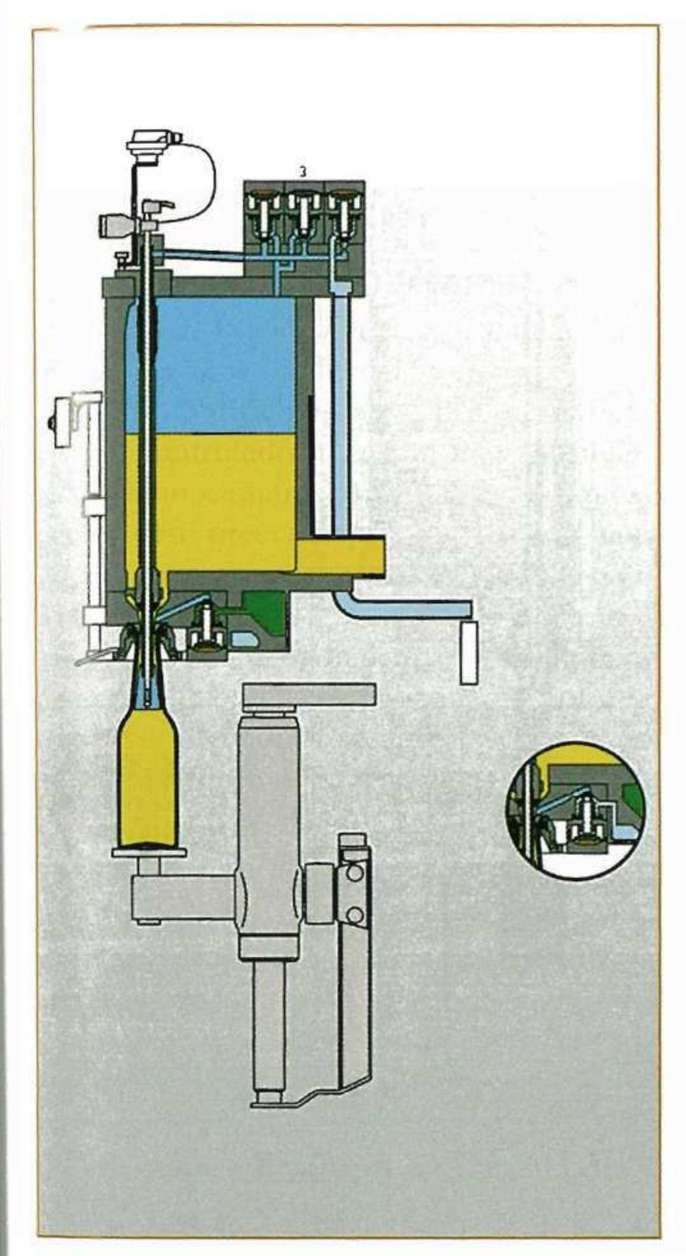


Fase 5: Establecimiento de contrapresión

Se repite aquí el proceso como en fase 3, pero ahora las válvulas de contrapresión (2+3) se encuentran abiertas y el proceso dura más tiempo. El CO_2 que ingresa fluyendo produce una muy elevada concentración de CO_2 en la botella luego de la doble evacuación; al mismo tiempo se establece la misma presión en la botella que en el tanque anular.

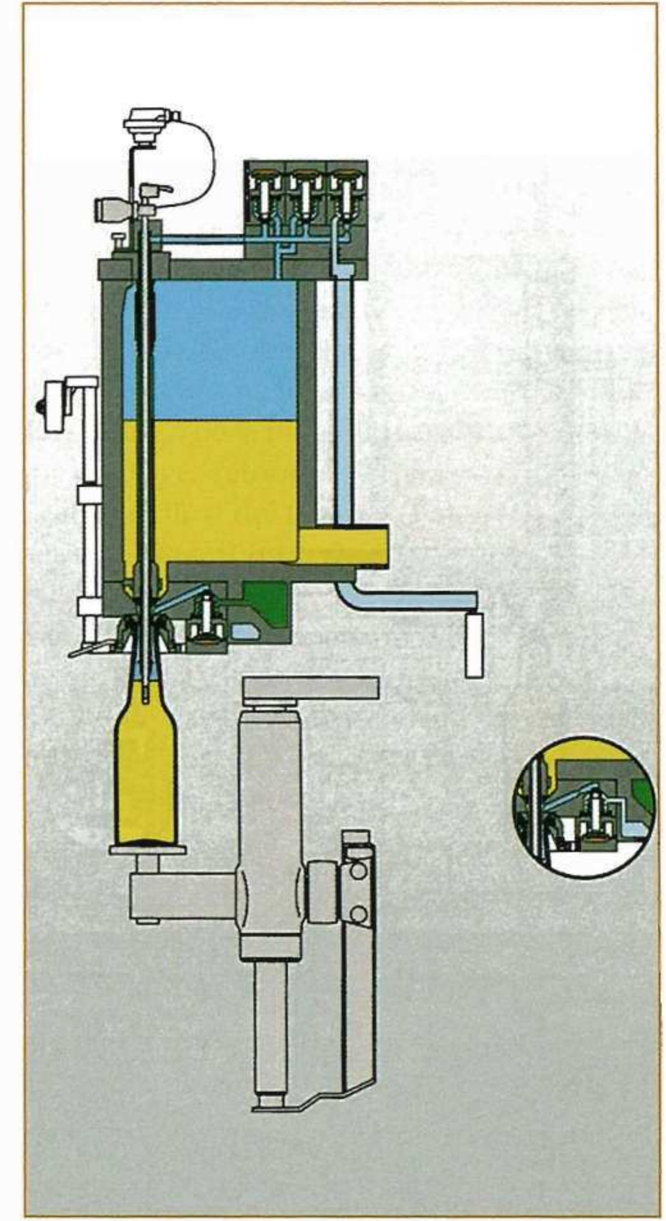
Fase 6: Fase de llenado: rápido

Luego de la compensación de presión entre la botella y el tanque de la llenadora, las válvulas de alivio (2+3) permanecen abiertas. La cerveza puede ahora fluir hacia abajo –isobarométricamente– y es dirigida por el cono desviador (9) contra la pared de la botella, por la cual fluye hacia abajo en forma de película delgada. El CO_2 escapa al tanque a través del tubo de gas de retorno y las válvulas de gas de retorno (2+3).



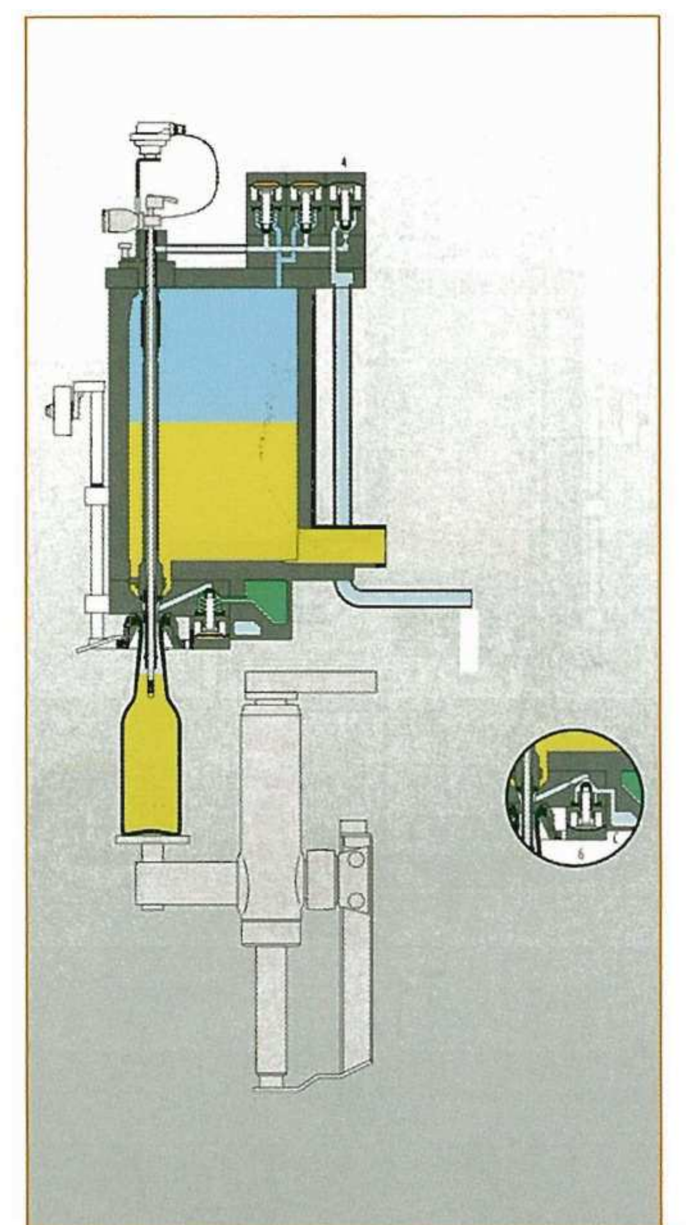
Fase 7: Fase de llenado: lento

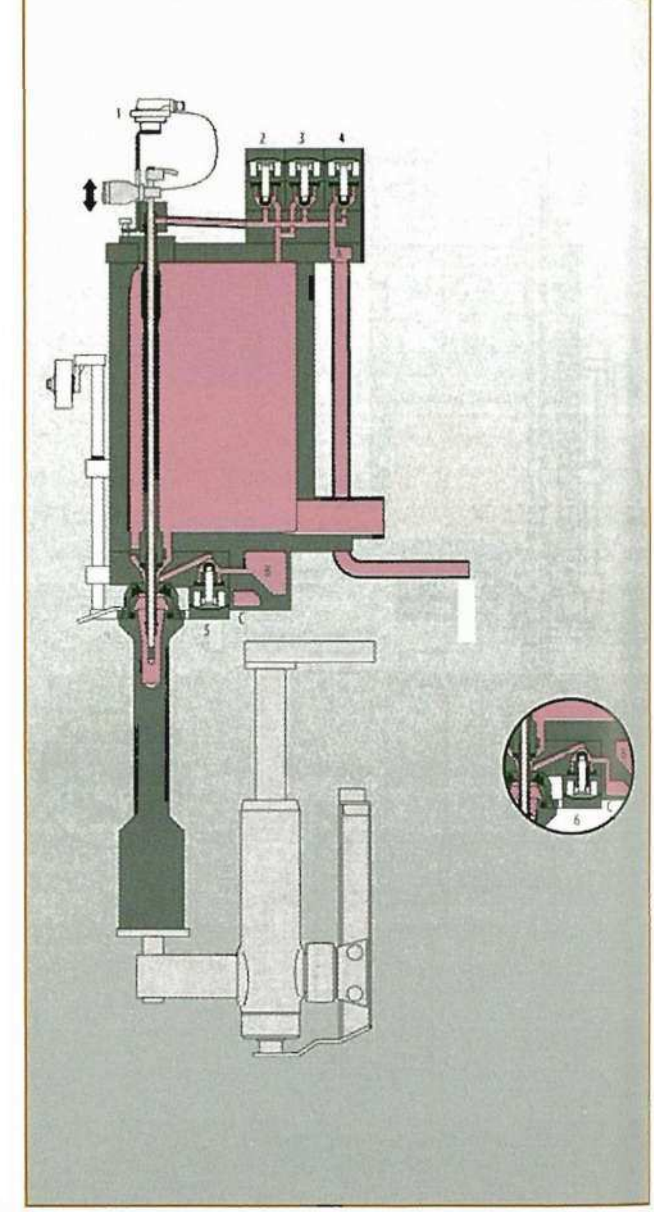
Hacia el final del llenado se reduce la velocidad de llenado para alcanzar un nivel de llenado controlado exactamente. Para ello, la válvula de gas de retorno (2) cierra y la válvula de gas de retorno (3) permite retornar menos gas de retorno por medio de una sección transversal menor; de esta manera se atenúa la alimentación.



Fase 8: Fin de llenado

La sonda finaliza la alimentación y se encarga del cierre de todas las válvulas. La botella puede ser bajada ahora. Ella tiene el nivel de llenado previsto. La altura exacta de llenado es un criterio importante para la calidad de nuestra cerveza de botella: un llenado insuficiente constituye un engaño a la clientela y al fisco; un llenado excesivo reduce nuestra ganancia: ¡Una diferencia de 1 ml en cada botella de 0,5 l implica en el caso de una producción de cerveza embotellada de 100 000 hl (= 20 millones de botellas) ya 200 hl! También pequeñas cantidades suman.





Fase 9: Alivio de presión

Por la apertura de la válvula (4) se comunica el interior de la botella con el canal de alivio, el cual hace descender lentamente la presión en la botella a través de una conexión estrechada. De esta manera impide un espumado demasiado grande de la cerveza luego del descenso.

Fase 10: Fase de limpieza CIP

Una vez por semana, el interior del llenador es sometido a una limpieza CIP. Para ello se ubican recipientes de forma particular debajo de los dispositivos de llenado y se abren todas las válvulas para ser limpiadas por medio de agentes de limpieza y de desinfección. Posteriormente, los restos de agentes limpiadores son extraídos minuciosamente por enjuague con agua.

Pero la sonda también puede ser del tipo hueca (Figura 5.26a) y posee entonces las funciones "barrido" luego de la preevacuación y "gas de retorno" durante el llenado. El llenador monocámara Innofill DRS-ZMS/S, controlado por ordenador, trabaja con una triple preevacuación y un doble barrido con CO_2, por medio de la sonda hueca, la cual también establece la altura de llenado.

Muchas fábricas de cerveza prefieren llenadores controlados mecánicamente. Un llenador monocámara controlado mecánicamente, con preevacuación y barrido con CO_2, es por ejemplo el Innofill DMG-SVF (KHS Dortmund) (Figura 5.26b)

El proceso de llenado ocurre de la siguiente manera: la botella es presionada contra la válvula de llenado y se abre la válvula de evacuación (flecha). Se realiza la evacuación de la botella (Pos. 1). Por medio de la apertura adicional de la válvula de preparación se conduce CO_2 al interior de la botella y se la barre (Pos. 2). A través de una segunda evacuación se extrae el aire residual de la botella (Pos. 3). Posteriormente, por la apertura de la válvula de preparación, se conduce CO_2 desde el tanque al interior de la botella y se establece de esta manera un equilibrio de presión (Pos. 4). Se abre ahora la válvula de cerveza y esta última ingresa a la botella fluyendo a lo largo de la pared de la misma, en tanto que el CO_2 es retornado al tanque (Pos. 5). Se alcanza el final del llenado (Pos. 6) cuando la cerveza llega al tubo de gas de retorno. Las válvulas de cerveza y de gas de retorno cierran (Pos 7). Por la apertura de la válvula de alivio (flecha), la cerveza que se encuentra en el tubo de gas de retorno puede volver hacia la botella (Pos. 8) y establece con ello el nivel de cerveza en la botella.

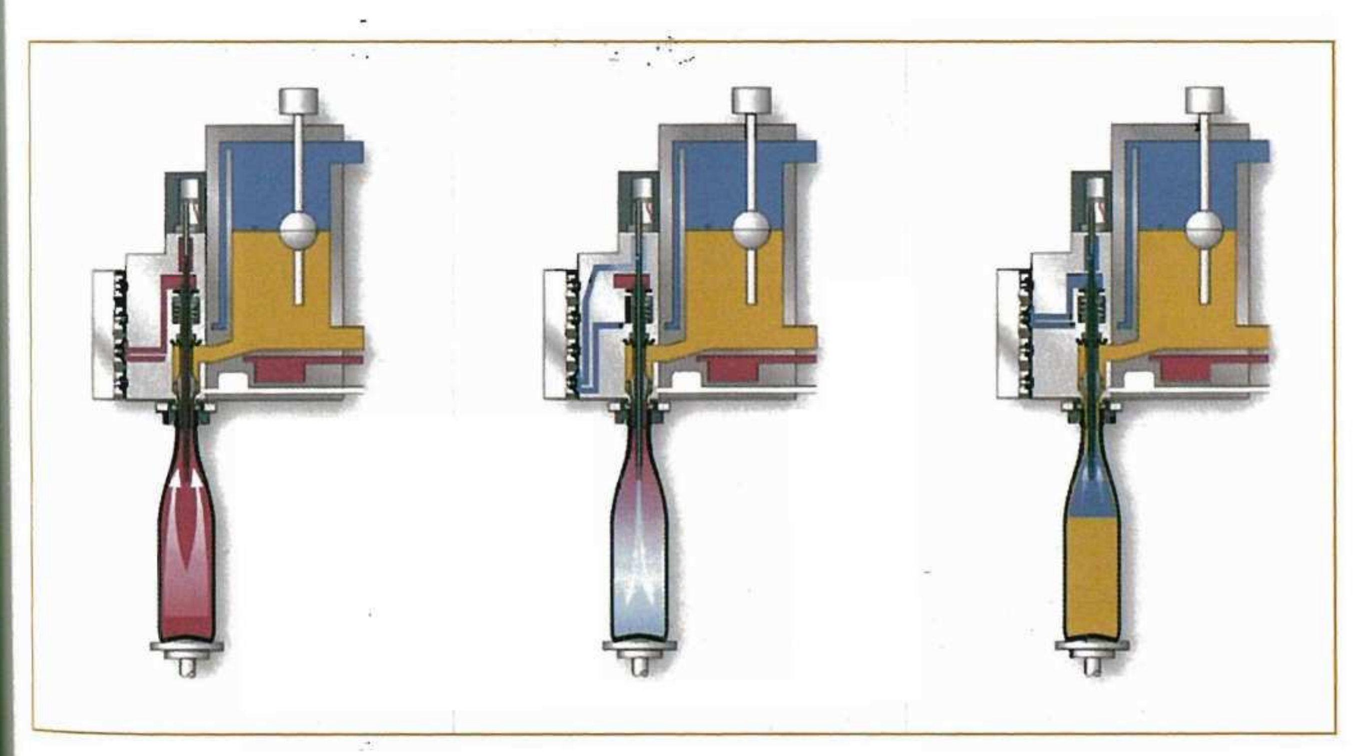


Figura 5.26a
Llenador monocámara con sonda hueca, controlado por ordenador (Innofill DRS-ZMS/S, KHS, Dortmund)
(Explicaciones en el texto)

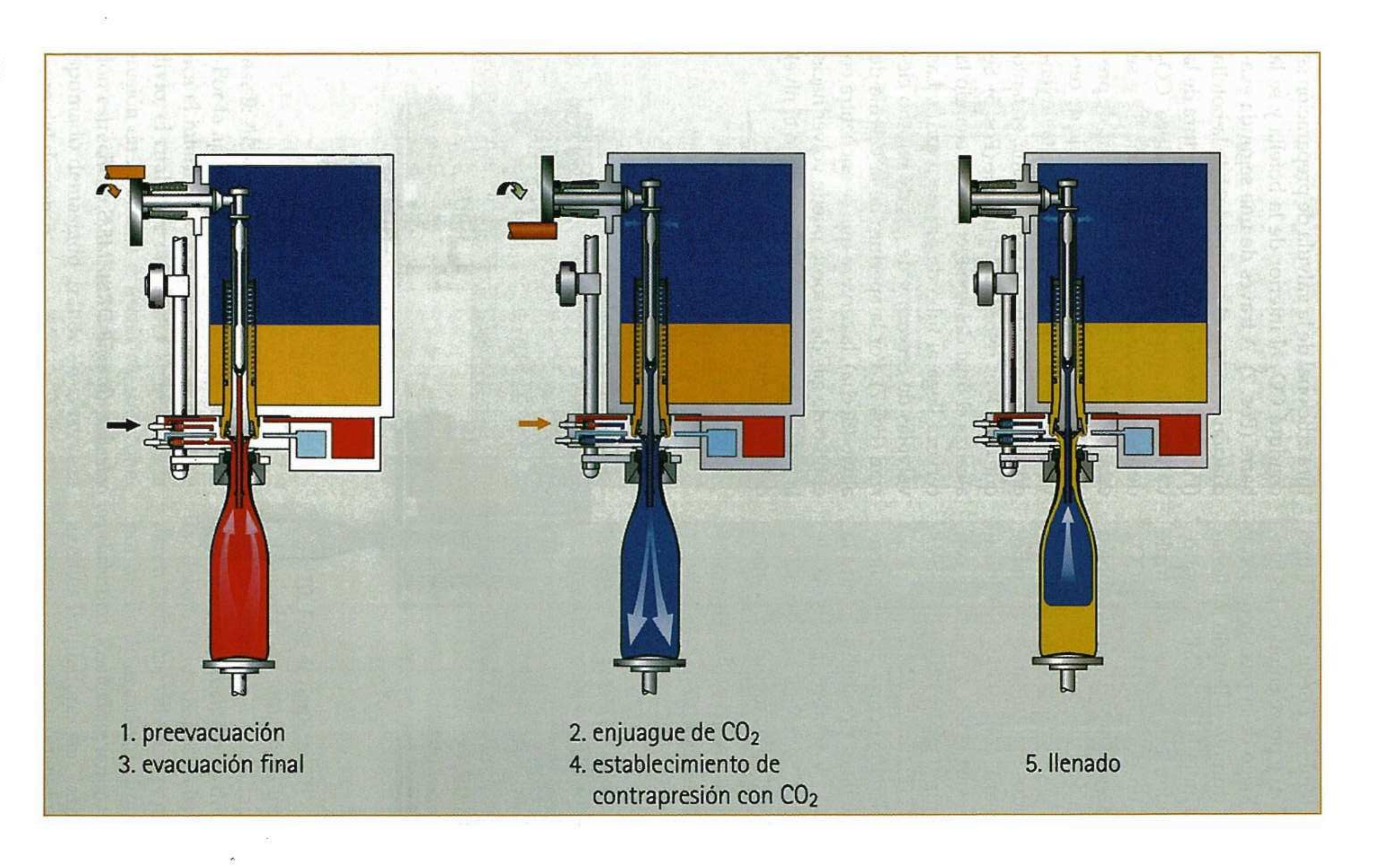
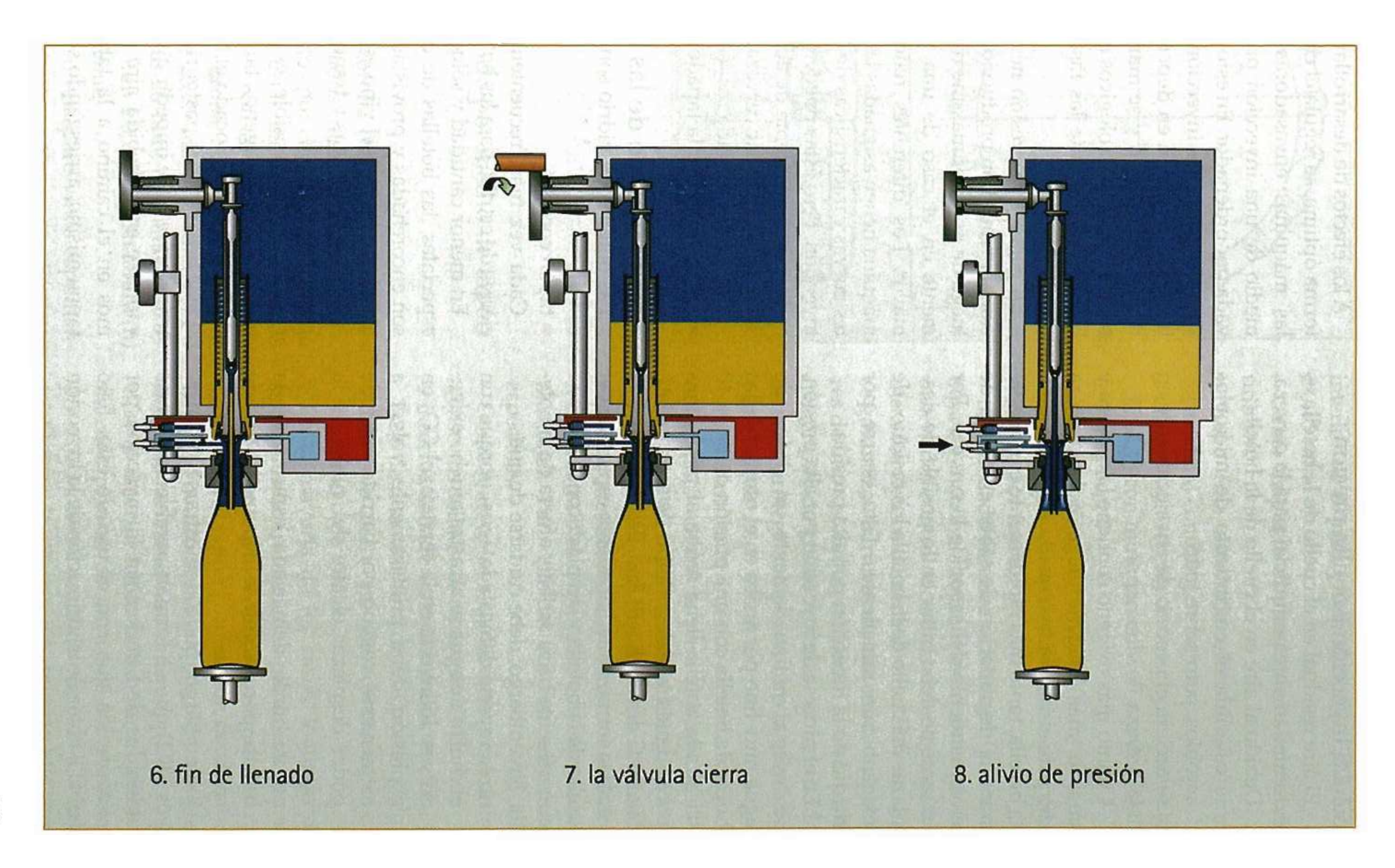


Figura 5.26b
Llenador controlado mecánicamente, modelo DMG-SVF (KHS Dortmund)
(Explicaciones en el texto)



6. fin de llenado
7. la válvula cierra
8. alivio de presión

5.1.4.5 Inyección por alta presión

El aire residual en el cuello de la botella es extremadamente perjudicial para la cerveza.

Debido al aire en el cuello de la botella:

- se estimula el crecimiento de microbios aerobios, pero sobre todo
- se acelera el proceso de envejecimiento en la cerveza.

5

Cuanto más oxígeno contiene la cerveza y cuanto más oxígeno llega a la cerveza durante el envasado o queda en el cuello de la botella, tanto más rápidamente es de esperar una degradación de sabor en forma de envejecimiento del sabor de la cerveza. Por lo tanto se debe tratar en lo posible de desplazar del cuello de la botella los residuos de oxígeno aún remanentes. Esto ocurre por medio de la inyección por alta presión.

En el proceso de inyección por alta presión, se inyecta continuadamente un chorro de agua muy fino por arriba en el camino de las bocas de botella con una presión de hasta 40 bar. Cada botella llena recibe al pasar unas pocas centésimas de mililitro de agua caliente a 80°C de ese chorro fino. Esto causa que la cerveza forme inmediatamente espuma en el cuello de la botella y desplace con ello el aire aún presente hacia arriba y afuera de la botella. Sin embargo, debe cuidarse de que:

- no se inyecte demasiada agua, porque con el chorro de agua se arrastra mucho oxígeno y se lo inyecta en la cerveza; el CO_2 en explosión debe primeramente volver a extraer este oxígeno por barrido antes de poder desplazar el aire del cuello de la botella y
- no desborde demasiada espuma de la botella porque con la espuma se pierde cerveza.

Sin embargo, pudo demostrarse en ensayos [272] que se forman notablemente más aldehídos de Strecker sin la inyección por alta presión que con el uso de ésta. Esto habla a favor de la utilización de la inyección por alta presión.

A los efectos de desarrollar este proceso de forma óptima, se regula el chorro de agua en las máquinas envasadoras modernas por medio de una inyección proporcional apoyada por ordenador. En esto se regula la presión necesaria de inyección y, en parte, el lugar de inyección en dependencia del rendimiento llenador, y se mantienen constantes los valores tecnológicos en el cuello de la botella aun durante las fases de frenado y aceleración.

En general, la presión necesaria de inyección aumenta con producción creciente, pero luego de un valor máximo disminuye nuevamente en el caso de una producción aún mayor. Los diferentes rendimientos de la máquina tienen asignadas las correspondientes curvas características de las presiones de inyección. Pero éstas pueden ser modificadas correspondientemente de acuerdo con el criterio de la fábrica de cerveza.

La botella llenada es conducida ahora inmediatamente a la tapadora.

5.1.5 Taponado de las botellas

Las botellas de vidrio son provistas luego con un

- tapón corona.

Cada vez más frecuentemente se utilizan cierres de estribo para las botellas de cerveza.

En menor cantidad y sólo para propósitos especiales, las botellas de cerveza también son encorchadas y provistas de un bozal de alambre (como en el vino espumante; cervezas especiales belgas y francesas).

Cuanto más sensible es la bebida a la influencia del oxígeno, tanto más rápidamente debe ser colocado el tapón.

Si la bebida no es pasteurizada subsecuentemente, se debe impedir que penetren nuevamente en la bebida aire o microorganismos en el camino a la tapadora o por el tapón mismo, arriesgando su estabilidad.

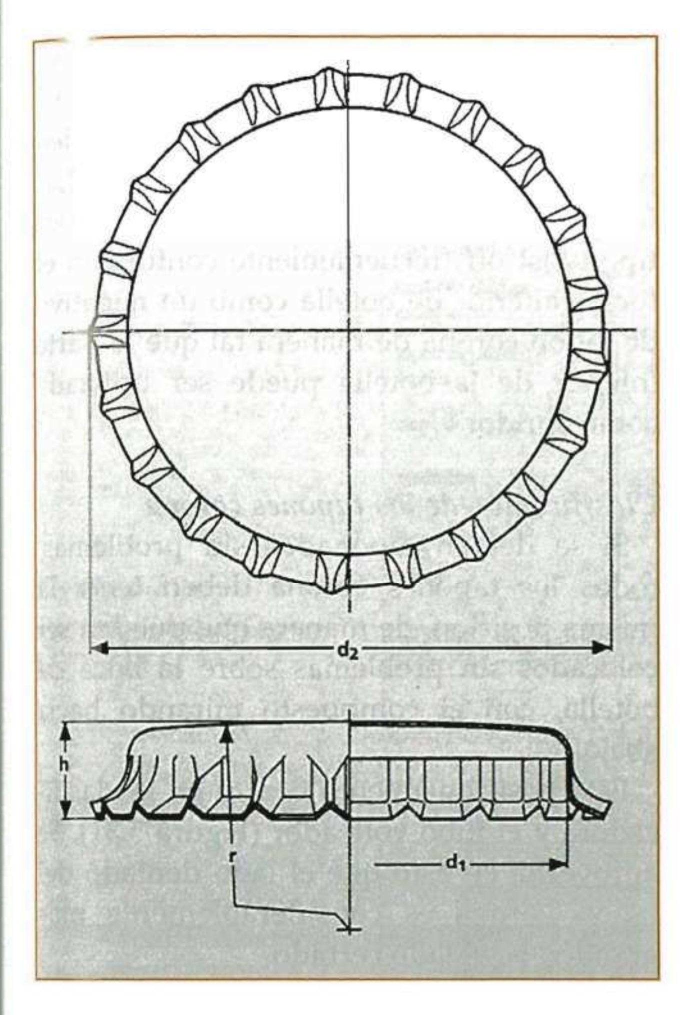


Figura 5.30
Tapón corona

5.1.5.1 Taponado por medio de tapón corona

Tapón corona

Los tapones corona (Figura 5.30) son los tapones empleados más frecuentemente. Están compuestos por chapa fina barnizada con un espesor estándar de chapa de 0,235 mm ± 0,020 mm y con un inserto sellador.

Los tapones corona tienen un diámetro interior (d1) de 26,75 mm y 21 dientes. Su denominación es 26 mm; el diámetro exterior (d2) es 32,1 mm ± 0,2 mm y su altura (h) 6,00 mm ± 0,15 mm.

Los tapones corona para vinos espumantes y bebidas similares tienen un diámetro interior de 29 mm y una altura de 6,80 mm ± 0,15 mm.

Como chapas finas para tapones corona se utilizan:

- chapa fina estañada electrolíticamente (hojalata) con 2,8 g de Sn/m^2,
- chapa fina cromada electrolíticamente (ECCS) con mínimamente 60 mg de Cr/m^2 en cada cara,
- chapa fina inoxidable (INOX).

Los tapones corona están barnizados por dentro y por fuera.

El barnizado exterior es realizado sobre la base de matrices litográficas en sistemas de ordenador controlados digitalmente, conforme a los deseos de cada cliente. Hoy en día se garantizan barnices de alta calidad y colores de impresión que satisfacen las más altas exigencias de color. Además, el barnizado exterior protege al tapón contra la corrosión y la abrasión.

En el barnizado interior se utilizan diferentes lacas adhesivas para el inserto sellador; para PVC o para material libre de PVC.

Para la promoción de las ventas se usan a veces tapones corona cuyos insertos selladores son extraíbles e impresos con efecto promocional. Para ello se utilizan adhesivos especiales.

Como materiales selladores se emplean:

- insertos selladores a base de PVC,
- insertos selladores estampados en frío, a base de material libre de PVC, o también
- discos de corcho aglomerado con espot de aluminio o de vinilo.

En la mayoría de los casos, los insertos selladores están formados por un compuesto de PVC y son inyectados y estampados en caliente en el tapón corona. Son de comportamiento neutro al sabor y también apropiados para envasado en caliente, pasteurización y esterilización. Sellan muy bien y muchas plantas de envasado los prefieren por este motivo a pesar de que el PVC causa problemas de eliminación de desechos.

5

Los insertos selladores libres de PVC son extrudados a partir de un granulado a base de material libre de PVC y se los estampa en diversos moldes para las diferentes bocas de botella. Son también neutros al sabor y de la misma manera apropiados para el envasado en caliente y la pasteurización.

Los tapones corona de hojalata o de chapa fina cromada con discos de corcho aglomerado y espot son utilizados para aperitivos alcohólicos o leche esterilizada.

Cada vez más frecuentemente se equipan también tapones corona con un compuesto Scavanger, que puede ligar 2-4 mg de oxígeno, a través de agentes reductores depositados, y contrarrestar con ello a largo plazo un ingreso de oxígeno.

Pero en principio también con el tapón corona debe esperarse un ingreso de oxígeno a través del compuesto; es así como se pueden manifestar con el tiempo olores ambientales en el sabor de la cerveza durante su almacenamiento embotellada –en contra del salto de presión entre el interior de la botella y el aire externo–.

Tapones corona tipo twist off

Por tapones tipo twist off se entienden tapones que se unen firmemente con el recipiente por medio de un cuarto de giro y que pueden ser abiertos nuevamente por medio de un corto giro en sentido contrario a las agujas de reloj. Tales tapones son usuales en botellas y vasos con boca más ancha.

Originario de Norteamérica, el tapón corona tipo twist off se introdujo en muchos países para el taponado de botellas de cerveza. Para ello, las botellas no retornables deben poseer una pseudorosca, la cual es cerrada con un tapón corona tipo twist off. El consumidor puede entonces abrir la botella sin abridor por medio de un cuarto de giro en contra del sentido de las agujas de reloj. Pero dado que el tapón corona posee cantos muy filosos, muchos consumidores utilizan pañuelos o trapos para evitar lastimarse la palma de la mano. No obstante, otros usan un abridor, por lo cual pueden presentarse daños en la pseudorosca. Las fábricas de cerveza que utilizan tapones tipo twist off frecuentemente conforman el fondo inferior de botella como un negativo de tapón corona de manera tal que la parte inferior de la botella puede ser utilizada como abridor.

Clasificación de los tapones corona

Si se desean taponados sin problemas, todos los tapones corona deben tener la misma posición, de manera que puedan ser colocados sin problemas sobre la boca de botella, con el compuesto mirando hacia abajo.

Este posicionamiento ocurre en la clasificadora y el tubo volteador (Figura 5.31). Se aprovecha en esto que el lado dentado del tapón corona es considerablemente más grande que el lado cerrado.

Si un tapón corona llega al tubo volteador con el lado abierto mirando al observador (Figura 5.31, derecha), los insertos en el tubo hacen girar el tapón en un cuarto de giro hacia la izquierda y éste sale del tubo con el lado abierto (hacia la derecha).

El tapón corona de la izquierda ingresa exactamente al revés en el tubo volteador (Figura 5.31, izquierda). Los insertos le imponen un giro a la derecha, el cual finalmente lo ubica en la misma posición que su asociado a la derecha –con el lado abierto (hacia la derecha)–.

De esta manera, todos los tapones corona se ordenan en la misma dirección sin importar la dirección con que llegan.

Posteriormente, los tapones corona son conducidos –uno junto al otro– a la transferencia a través de una canaleta de alimentación, y finalmente son colocados sobre las botellas.

Con el correr del año, muchos millones de tapones corona pasan estas clasificadoras,

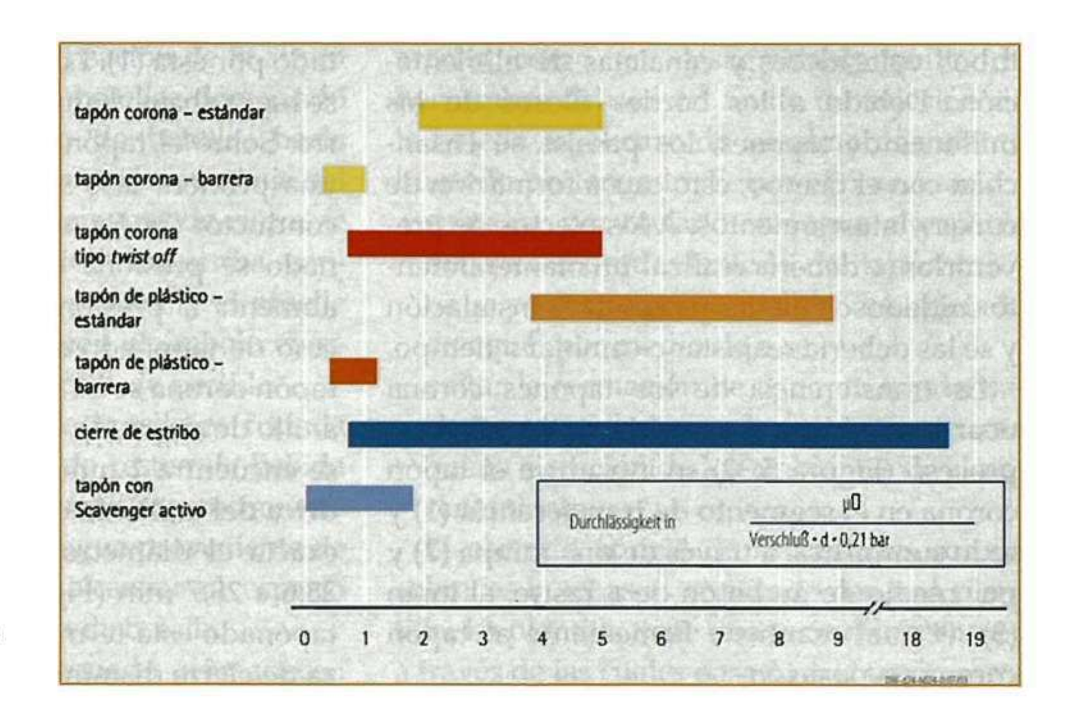


Figura 5.30a
Permeabilidad al O_2, en mg, en 24 hs

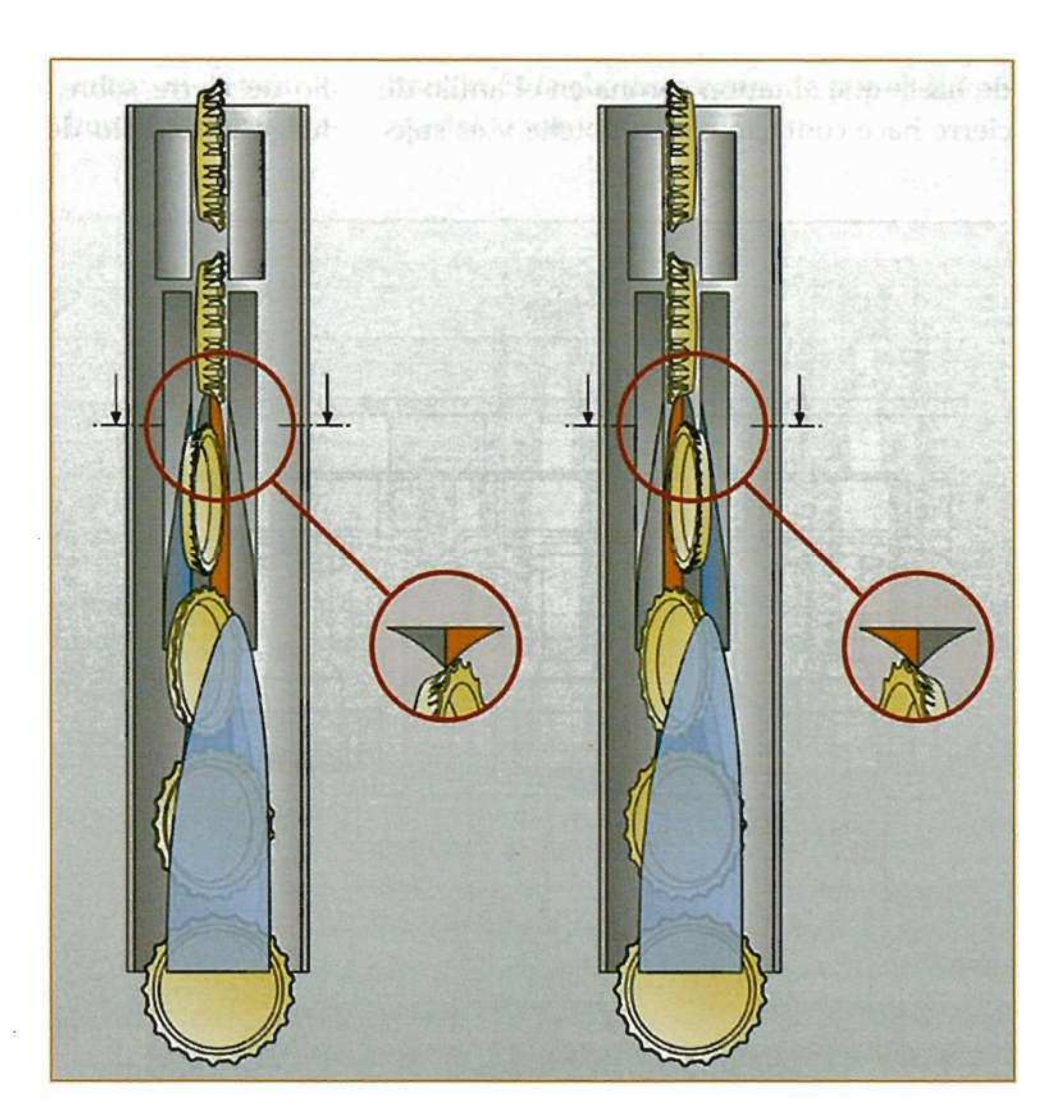


Figura 5.31
Tubo volteador para el giro de los tapones corona a la posición correcta

tubos volteadores y canaletas de alimentación. Debido a los bordes filosos de los millones de tapones, los pasajes se ensanchan con el tiempo; esto causa formación de cuñas y atascamientos. A los efectos de prevenirlos se debería realizar un mantenimiento cuidadoso de estas partes de la instalación y se las debería reajustar o cambiar a tiempo.

La transferencia de los tapones corona ocurre mecánica o magnéticamente. En este proceso (Figura 5.32) se introduce el tapón corona en el segmento de transferencia (1) y se lo suministra, a través de una rampa (2) y por medio de un botón de arrastre, al imán (3), el cual mantiene firmemente al tapón corona en posición.

El proceso de taponado es relativamente complicado, dado que se debe tratar de compensar diferencias de altura muy reducidas (Figura 5.32a). El elemento de cierre desciende hasta que el tapón corona en el anillo de cierre hace contacto con la botella y es sujetado por ésta (1). Luego continúa moviéndose hacia abajo ya únicamente el anillo de cierre. Sobre el tapón corona actúa en esto en una primera fase sólo la fuerza del muelle conductor (2). En una segunda fase de taponado se presiona el muelle de eyección y aumenta la presión sobre la botella. El proceso de taponado está finalizado cuando el tapón corona se ha introducido 7,7 mm en el anillo de cierre (3). Con esto, el tapón corona se encuentra 1 mm dentro de la parte cilíndrica del anillo de cierre y se logra de forma exacta el diámetro de cierre requerido de 28,6 a 28,7 mm (Figura 5.35). El proceso de taponado está terminado con esto y la fuerza de cierre disminuye nuevamente (4).

Con el efecto retardado del muelle eyector está garantizada una alta calidad de taponado con reducida presión sobre la botella. Con un ulterior movimiento descendente del anillo de cierre sobre el taponador se enclava luego el émbolo de presión. Tiene también

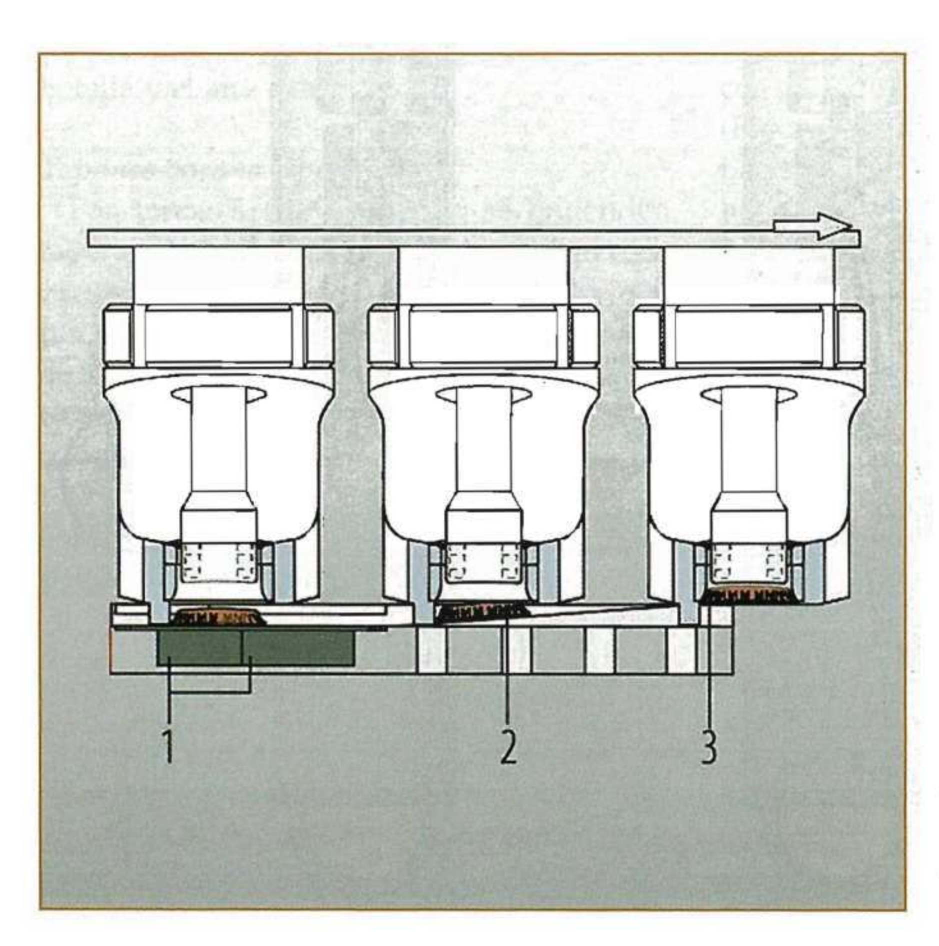


Figura 5.32
Transferencia de tapón corona en la tapadora

lugar en esto una compensación de la altura de botella, en la cual las botellas demasiado altas aprietan el platillo de botellas hacia abajo, hasta alcanzar la posición más baja del elemento de cierre. El elemento de cierre se mueve ahora nuevamente hacia arriba, controlado por la leva de elevación, y el muelle conductor retorna a presión al émbolo eyector nuevamente a la posición de partida.

Luego del taponado, la botella es rociada con agua para liberarla de restos de bebida adheridos (peligro de corrosión, crecimiento de microorganismos). El agua proveniente de pequeñas toberas debe alcanzar el espacio entre tapón corona y boca de botella.

También luego del taponado permanecen intactos los bordes filosos de acero, no protegidos, del tapón corona. En combinación con el agua que se acumula debajo de los dientes se forma herrumbre, debido a una reacción electroquímica entre el estaño o cromo y el hierro. Esta herrumbre se desarrolla como un desagradable anillo de herrumbre debajo del anillo de sujeción de la botella en el caso de un almacenamiento húmedo prolongado. Es por ello necesario:

- enjuagar por rociado con agua el espacio debajo del borde dentado del tapón corona y posteriormente realizar un soplado de aquél por medio de aire, y
- evitar la formación de agua de condensación en botellas cerradas a través de una buena aireación de los ambientes de almacenamiento.

El correcto apriete de los tapones corona sobre las botellas es verificado con una plantilla. La plantilla tiene una serie de aberturas, a través de las cuales pasa o no el tapón corona apretado o se desliza demasiado suelto. Esta verificación debe ser realizada con todos los dispositivos del proceso de taponado para controlar la uniformidad de su trabajo. Si la abertura ocupada por el diámetro del tapón corona:

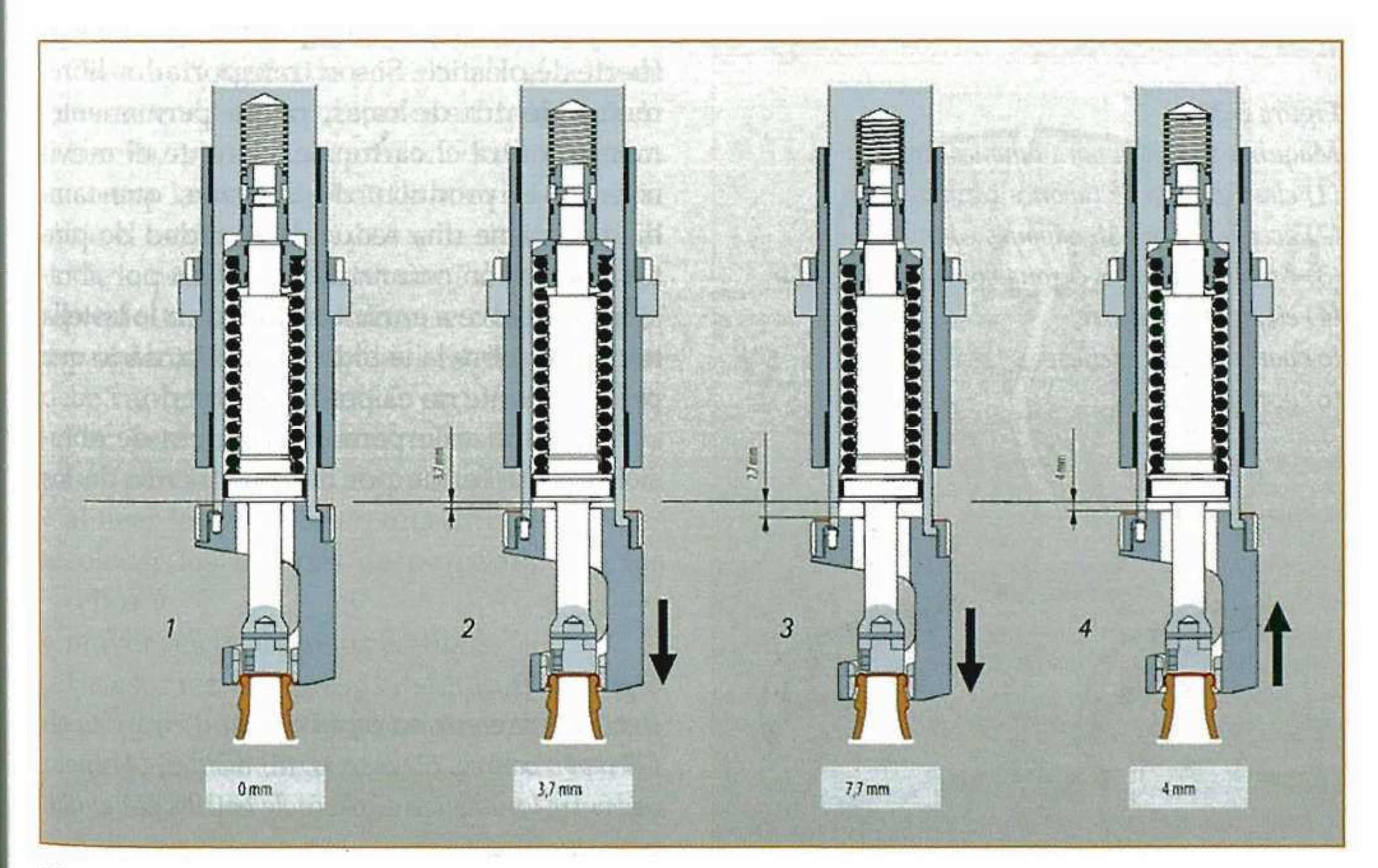


Figura 5.32a : Recorrido del elemento de cierre durante el taponado (Explicaciones en el texto)

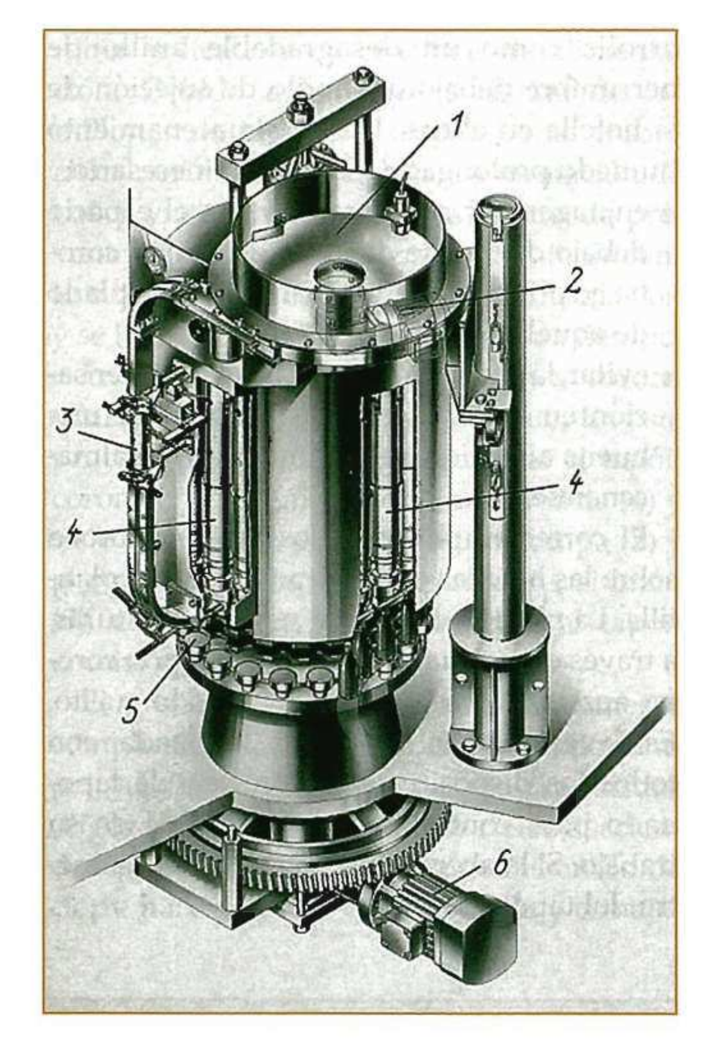


Figura 5.33
Máquina tapadora para tapones corona
(1) clasificadora de tapones corona,
(2) accionamiento de tapones corona,
(3) canal de tapones corona con tubo volteador,
(4) elemento de cierre,
(5) portador de botellas,
(6) accionamiento.

- es demasiado pequeña, puede haber dificultades para abrir la botella,
- es demasiado grande, esto puede causar fugas o el tapón corona puede soltarse.

Los tapones corona recién colocados pueden ser girados ejerciendo alguna fuerza. Tal como lo demuestran estudios efectuados, este juego no tiene nada que ver con el ajuste firme del tapón corona. Los tapones se "estabilizan" recién con el tiempo.

Transporte y almacenamiento

Los tapones corona son de chapa de acero y, por ende, magnéticos. Por este motivo, el transporte de los tapones corona ocurre usualmente a través de cintas magnéticas, por lo cual es realizable un transporte vertical sin problemas. Debido al transporte sobre cintas magnéticas, los tapones corona no pueden rozar entre sí.

Los tapones corona tienen bordes filosos, con los cuales pueden rozar entre sí y contra el recubrimiento. Deberían ser transportados y almacenados siempre en un embalaje fuerte de plástico. Si son transportados libremente dentro de cajas, rozan permanentemente contra el cartonaje, durante el movimiento. El producto de abrasión, que también contiene una reducida cantidad de pintura del tapón corona desprendida por abrasión, se vuelve a encontrar luego en la botella nadando sobre la bebida envasada, dado que prácticamente no es posible extraerlo.

Lo mismo vale para el producto de abrasión que se forma por el movimiento de los

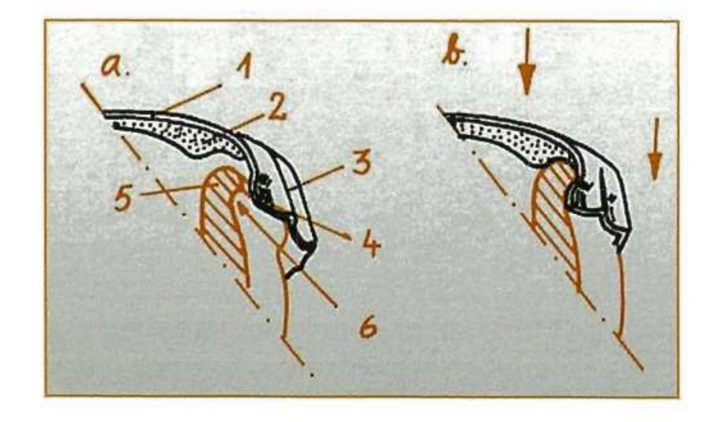


Figura 5.35
Principio de cierre del tapón corona
(1) tapón corona, (2) inserto, (3) dientes, (4) curvas entre los dientes, (5) boca de botella, (6) anillo para sujetar el tapón
a = sin cerrar   b = cerrado

tapones corona en la clasificadora (hopper), la cual, por este motivo, no debería estar permanentemente llena de tapones corona. Es por ello que el indicador de nivel del embudo debería estar ajustado lo más bajo posible.

5.[illegible].5.2 Taponado con cierre de estribo

Cierres de estribo

Los cierres de estribo eran aún hace medio siglo los tapones usuales para botellas de cerveza. En una cantidad de fábricas de cerveza, los cierres de estribo han sido introducidos nuevamente para resaltar tipos individuales de cerveza.

Los cierres de estribo consisten en:

- un tapón de porcelana, que por lo general posee apliques publicitarios,
- un sello de goma y
- un estribo de dos piezas de alambre de acero galvanizado o acero inoxidable.

Procedimiento de taponado con cierres de estribo

Cuando el tapón de porcelana y el sello de goma se encuentran ubicados sobre la boca de la botella, pueden ser presionados firmemente contra la boca de botella moviendo hacia abajo el estribo tensor, y se sella así el contenido de la botella. Este procedimiento puede ser repetido tantas veces como se desee. Para el movimiento hacia abajo del estribo tensor se debe vencer una resistencia significativa.

Por este motivo, son necesarios varios pasos parciales para un taponado mecánico:

- alinear los estribos en una dirección,
- colocar los tapones de porcelana con los sellos y
- mover hacia abajo los estribos.

De esto resulta que las máquinas de cierre de estribos tienen diseño relativamente complicado. Es por ello que los cierres de estribo son utilizados únicamente para aquellas variedades de cerveza con las cuales se pueden recuperar los mayores costos para las botellas y el taponado a través de un precio más elevado.

Problemas con los cierres de estribo
Protección del contenido

Los cierres de estribo están asegurados generalmente por medio de una etiqueta de estribo, la cual es colocada en el cuello de la botella y puentea el estribo tensor. Pero esta etiqueta es un seguro insuficiente, dado que puede ser quitada fácilmente.

Tensión de los estribos de alambre

Es conveniente controlar la tensión de los estribos de alambre, dado que ésta disminuye con el tiempo y entonces los tapones de porcelana son apretados insuficientemente contra la boca de botella.

Contaminaciones en el sello de goma

En la posición abierta, los sellos de goma están en estrecho contacto con el tapón de porcelana (Figura 5.36). Si la botella es cerra-

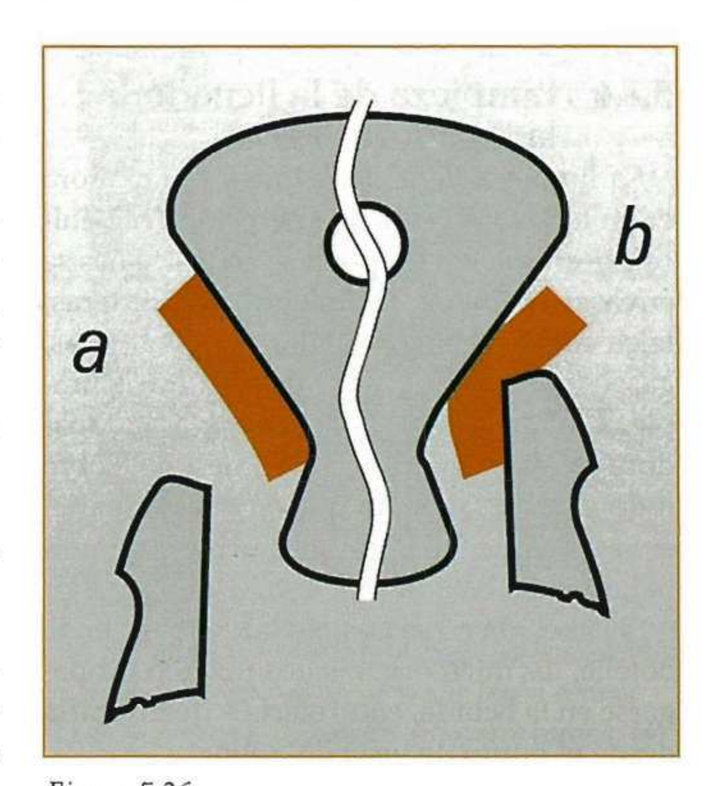


Figura 5.36
Cierre de estribo con disco de goma
(a) sin cerrar (b) cerrado

da, la goma es presionada hacia arriba y su extremo inferior se separa levemente del tapón de porcelana (b). Allí pueden formase nidos de contaminación, que luego pueden sobrevivir ampliamente a todos los procedimientos, protegidos entre el tapón de porcelana y el sello de goma, cuando la botella está abierta. Tan pronto como se cierra la botella, vuelven a ser activos.

Pero los sellos de goma no son únicamente por ese motivo una fuente de contaminaciones: las gomas viejas y las malas calidades de goma tienden a la formación de grietas, en las cuales se forman nidos de contaminantes que pueden causar turbideces. Además, las malas calidades de goma y las gomas viejas pueden ceder substancias de sabor a la cerveza, las cuales pueden deteriorar decisivamente la calidad de la bebida.

Los posibles problemas y los mayores costos han llevado a que el cierre de estribo en las botellas de cerveza se restrinja sobre todo a determinados tipos de cerveza, por lo general, de precio más alto.

5.1.6 Limpieza de la llenadora y la tapadora

La limpieza de la llenadora y la tapadora es en todos los casos una necesidad higiénica prioritaria. En las plantas, en las cuales se envasan bebidas fácilmente perecederas, tales como cerveza, bebidas no alcohólicas, gaseosas, jugos de fruta y de verdura, la limpieza minuciosa de la llenadora y la tapadora puede significar una cuestión sobre todo existencial, dado que en el camino del envasado pueden ingresar muchos contaminantes en la bebida a envasar.

Si la bebida no es pasteurizada luego en la botella, los microorganismos pueden propagarse en la bebida, enturbiarla y deteriorarla desde el punto de vista del sabor.

Los resultados indicados a continuación, referentes a estudios de muchos años realizados en plantas de envasado para cerveza con cierre por tapón corona, valen análogamente para otras bebidas fácilmente perecederas, las cuales son envasadas luego de una pasteurización flash o una filtración esterilizante en frío.

Como causas de contaminaciones han sido detectadas particularmente:

tapadora	émbolo de cierre revestimientos no desmotables estrellas
llenadora	estrellas y tulipas centradoras cubiertas en la zona de las cintas transportadoras cintas transportadoras tornillo sinfín de alimentación
inspeccionadora	estrellas cintas transportadoras (alta humedad)
máquina lavadora	agua de goteo en la chapa perfilada sobre la descarga de botellas
cintas transportadoras	descargas de goteo chapas colectoras artesas, cadenas de cinta
inmediaciones llenadora	substancias viscosas en componentes juntas de azulejos abiertas sumideros obstruidos
formación de vapores	canaletas sobre la descarga de botellas.

Si bien los parásitos son en su mayoría muy sensibles al calor y sobre todo a un medio ambiente seco, pueden sobrevivir y propagarse generalmente sólo bajo protección de otros microorganismos más robustos.

Tales microorganismos robustos son sobre todo las bacterias de ácido acético, las cuales

existen en todas partes y se rodean con una cápsula de substancia viscosa. Estas cápsulas de substancia viscosa brindan una protección excelente contra la desecación, pero también contra el calor o los agentes desinfectantes. Si tales colonias de ácido acético se establecen en esquinas y nichos de gérmenes, pueden llegar a esos lugares también otros gérmenes que entonces sacan provecho de la cápsula de substancia viscosa. Dado que las bacterias de ácido acético son muy aerobias, consumen muy rápidamente la reserva de oxígeno de las cápsulas, de manera que también pueden establecerse y propagarse bacterias anaerobias, tales como *pectinatus* y *megasphaera*. El ácido láctico formado por las bacterias de ácido láctico es utilizado de forma preferencial particularmente por esos dos contaminantes anaerobios, y con ello se estimula su propagación.

Si tales nichos de gérmenes no son eliminados consecuentemente, estos gérmenes peligrosos pueden continuar propagándose cada vez más y son arrastrados a todas las áreas posibles de la planta por movimiento del aire, salpicaduras, cintas de transporte de botellas y el personal. Los gérmenes ampliamente esparcidos se convierten con ello en una fuente de riesgo potencial, en especial porque se acostumbran cada vez más al medio ambiente de la bebida y se convierten así en contaminantes reales.

Por ello es necesario tomar todas las medidas para eliminar consecuentemente los nichos de gérmenes y mantener estos nichos siempre meticulosamente limpios junto a la llenadora y en ella y la tapadora, así como en todas las inmediaciones de la planta de envasado. Se utilizan para ello:

- sistemas de limpieza CIP de la lavadora y de la tapadora,
- chorreo con agua caliente de las partes de equipo que están sujetas a riesgo especial y
- la limpieza de toda la planta de envasado.

Sistemas de limpieza CIP de la llenadora y de la tapadora

La limpieza y la esterilización regulares de todas las partes que entran en contacto con la bebida son una precondición básica para un envasado biológicamente seguro. Para ello, todas las partes que entran en contacto con la bebida, incluyendo las tulipas centradoras y los tubos de gas de retorno, se limpian en circulación en las llenadoras modernas por medio de un sistema cerrado de CIP. Para cumplir esto se colocan cubiertas de limpieza especiales en los dispositivos de llenado, las cuales posibilitan una limpieza minuciosa con el agente de limpieza.

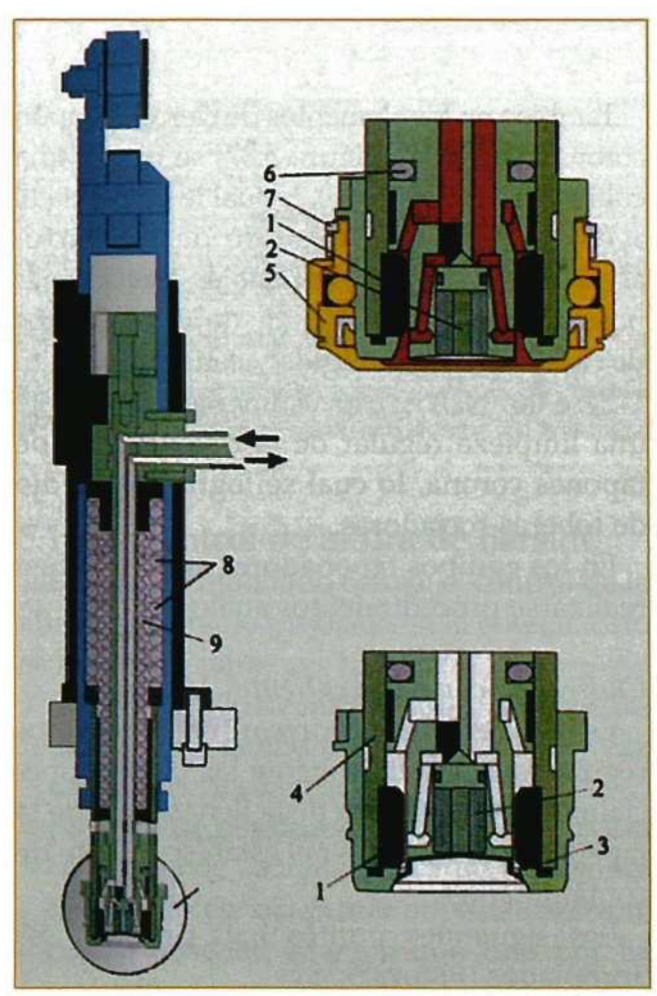


Figura 5.37: Elemento de cierre de tapón corona (1) cono de cierre, (2) imán, (3) cierre corona, (4) cabezal de cierre, (5) cubierta de enjuague, (6) suministro CIP, (7) tubería de retorno CIP, (8) muelle de compensación, (9) muelle eyector.

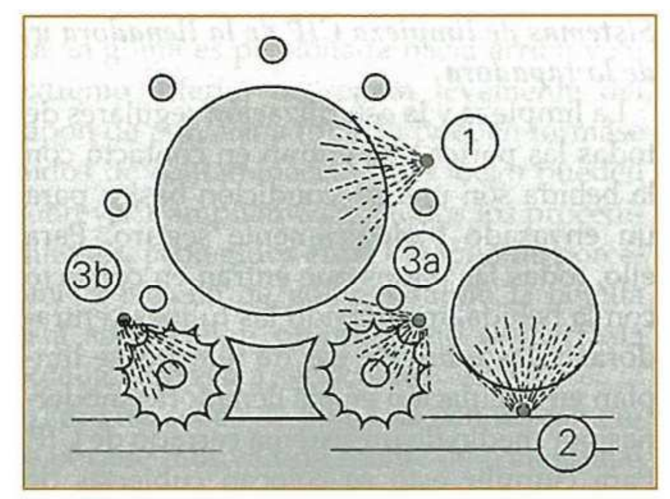


Figura 5.38
Chorreo con agua caliente
(1) llenadora, (2) estrellas tapadoras, (3) estrellas de transferencia.

También en los elementos de cierre de tapón corona modernos (Figura 5.37) se coloca una cubierta de enjuague (5), la cual le posibilita al agente de limpieza (dibujado de color rojo) acceder a todas partes. También hay buenas posibilidades para chorreado de los elementos de cierre de forma dirigida y con agua.

Pero también es especialmente importante una limpieza regular de la clasificadora de tapones corona, lo cual se logra por medio de toberas rociadoras.

En los equipos taponadores a rosca deben realizarse procedimientos análogos.

Chorreado con agua caliente

Es conveniente chorrear en intervalos regulares con agua caliente las partes especialmente vulnerables de la llenadora y de la tapadora para prevenir el establecimiento de contaminantes.

Los siguientes puntos han probado ser apropiados (Figura 5.38):

- en la llenadora, a la altura de las válvulas de control, los cilindros elevadores y las tulipas (1),
- en la tapadora, para el chorreado de los émbolos de cierre (2) y
- entre y encima de las estrellas de entrada y de salida (3) incluyendo la cinta transportadora.

El agua caliente debería tener una temperatura de 80 a 95°C, para destruir los gérmenes sensibles a la temperatura. El chorreado debería ocurrir cada dos horas, en lo posible durante un tiempo de parada, por 2 a 3 giros de la llenadora a media velocidad, luego de la salida de las botellas. El chorreado debe ser realizado en forma de chorro de agua ancho, no como agua de rociado distribuida y tampoco en forma de distribución fina de tobera.

Este método tiene considerables ventajas frente a un rociado con agentes desinfectantes. Este último no puede lograr todo su efecto, debido a la dilución y el breve tiempo de acción, y puede conducir a la problemática de residuos. En relación con esto debe prestarse especial atención al lavado exterior cuidadoso del elemento de cierre de tapones corona (Figura 5.38a)

Limpieza de toda la planta de envasado

Hemos visto que los primeros contaminantes ya pueden llegar a la botella en las chapas de goteo de la máquina lavadora. Es por ello imperiosamente necesario tomar regularmente todas las medidas que sirvan al mantenimiento de limpieza de toda la planta.

Estas medidas incluyen sobre todo:

- limpieza regular de todas las máquinas y partes de máquinas, utilización de limpiadores por espuma para las partes inaccesibles luego de un rociado a fondo;
- debe prestarse especial atención en esto a los revestimientos de difícil acceso, chapas de piso y accionamientos de máquinas;
- las cadenas de placas, los carriles de plástico y las estrellas distribuidoras son puntos débiles preferidos, con muchos orificios y cavidades;
- los pisos son frecuentemente fuentes de contaminación, debido a baldosas faltantes o flojas,

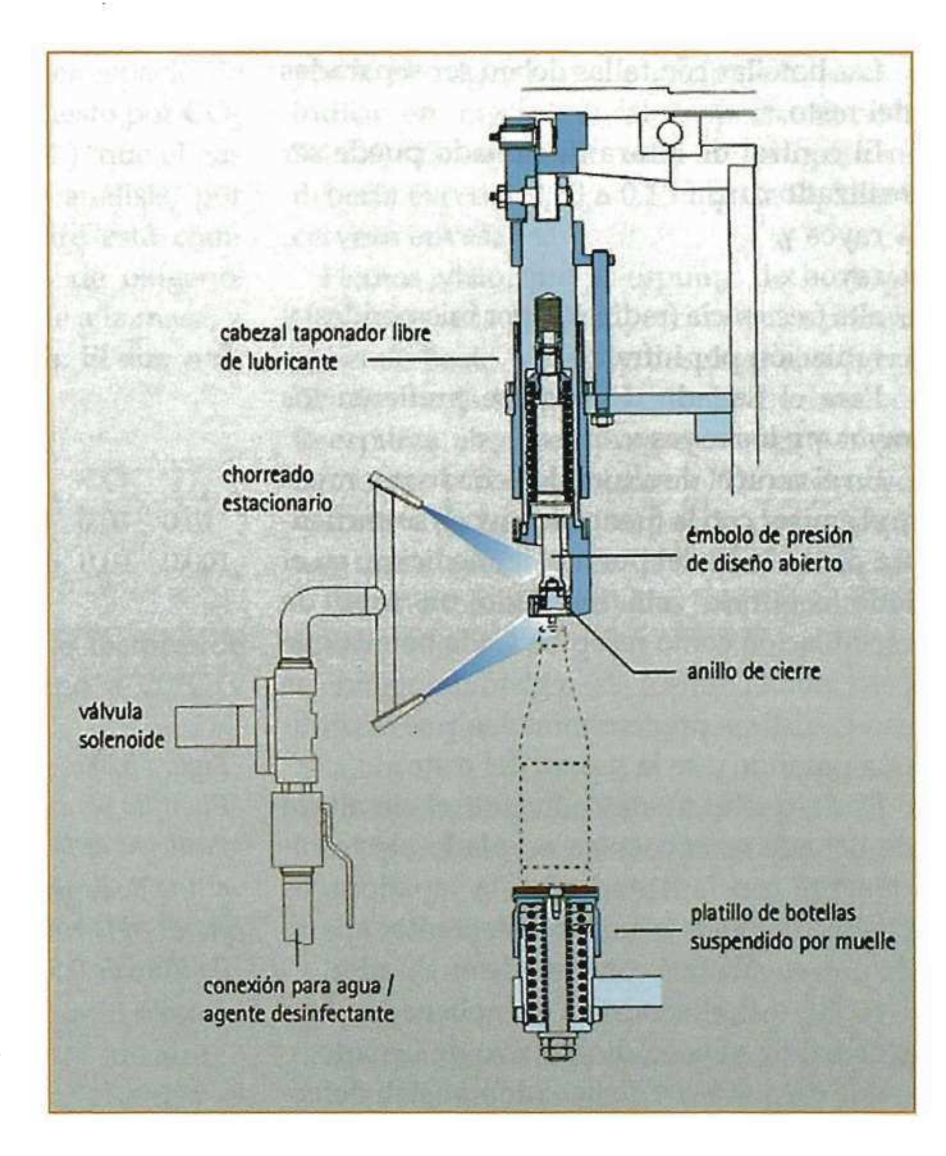


Figura 5.38a
Elemento de cierre de tapón corona con lavado exterior

- esquinas sucias, depósitos de cosas y equipos no requeridos.

¡A los efectos de hacer visible las sombras de rociado, se recomienda el rociado previo de polvo de kieselgur!

5.1.7 Control de las botellas llenadas y taponadas

Luego del taponado se realiza el control de las botellas en lo que respecta a:

- nivel de llenado correcto (control de altura de llenado),
- cierres faltantes o colocados de forma torcida, y
- en lo posible, también a oxígeno residual en el cuello de botella.

5.1.7.1 Control de altura de llenado

Luego del taponado ocurre el control de la altura de llenado prefijada en la botella. Esto es necesario para:

- preservar a los consumidores de un sub-llenado y con ello a la fábrica de cerveza de un deterioro en su imagen;
- proteger de pérdidas a la fábrica de cerveza en el caso de sobrellenado y de reventones de botellas en una posterior pasteurización;
- puede suceder además que una botella esté solamente llenada a medias o que esté vacía;
- simultáneamente, el sistema de control de altura de llenado debe registrar tapones faltantes o colocados de forma torcida y separar estas botellas del resto.

Las botellas con fallas deben ser separadas del resto.

El control de altura de llenado puede ser realizado con:

- rayos γ,
- rayos x,
- alta frecuencia (radiación por microondas) y
- radiación por infrarrojo.

Para el llenado de latas se prefieren los rayos γ y los rayos x.

En el control de altura de llenado por rayos γ, el emisor con la fuente de rayos γ se encuentra de un lado del puente de medición; en el lado contrario está instalado un tubo de escintilación como receptor. Cada botella que pasa por el sensor es registrada según las características predeterminadas y se la continúa pasando o se la separa del resto.

Dado que el aparato de control de altura de llenado se encuentra acoplado electrónicamente con la llenadora y la tapadora, es posible demostrar en todo momento, aparte de una estadística concreta de envasado:

- cuántos subllenados o sobrellenados han ocurrido en cada dispositivo de llenado,
- qué dispositivos de llenado trabajan defectuosamente y también
- qué émbolos de cierre trabajan eventualmente de forma defectuosa.

Aparte de ello es necesaria una verificación regular del trabajo del instrumento de control. Se utilizan para ello plantillas de medición, que están adecuadas a la forma de la botella y que se aplican al borde superior de la botella. Se mide la distancia entre el tapón y el nivel de líquido (Figura 5.38b).

En las botellas con cierre por tapón corona, esto ocurre básicamente sin problemas, en tanto que los tapones roscados presentan problemas debido a su punto de referencia no estándar.

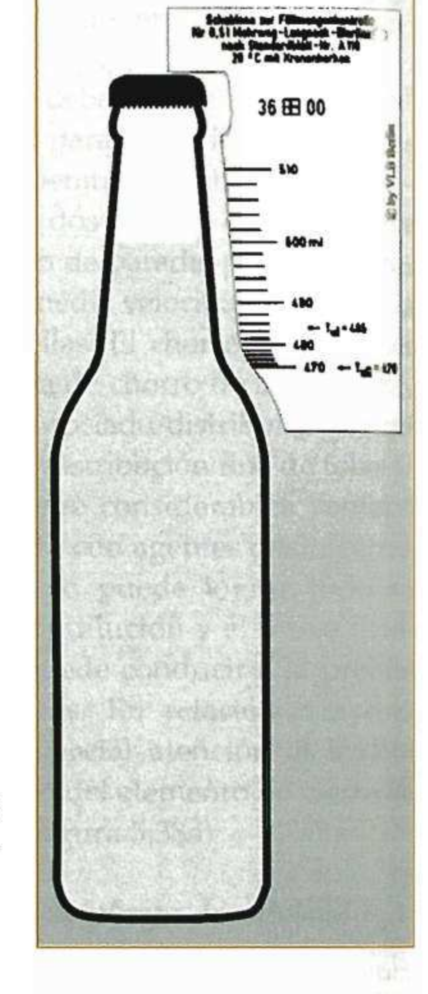


Figura 5.38b Plantilla para la medición de la altura de llenado en ml en la botella Euro de 0,5 l cerrada

5.1.7.2 Oxígeno en el cuello de botella

Hemos visto que el contenido de oxígeno al final del reposo en el tanque es casi 0% (0,0 a 0,01 mg de oxígeno/l), dado que la levadura ha consumido todo el oxígeno disponible. En el camino a través de la filtración, el contenido de oxígeno en la cerveza aumenta un poco (ingreso de oxígeno en el kieselgur, el agua, el filtro, etc.), de manera que se debe calcular con:

0,02 a 0,03 mg de O_2/l

en la entrada de la llenadora.

También durante el envasado ocurre un leve ingreso de oxígeno. Pero, aparte de ello, el oxígeno que queda en el cuello de la botella luego del envasado tiene una importancia especial, dado que ingresa a la cerveza por intercambio de gases y causa el deterioro descripto. Hemos visto que se trata de eliminar este oxígeno a través del espumado de la cerveza por inyección a alta presión en el cuello de la botella.

El gas que se encuentra en el espacio de cabeza de la botella está compuesto por CO_2 y aire. Veremos (Sección 7.4.3.4.) que el gas CO_2 es fácil de extraer en el análisis, por medio de soda cáustica. El aire está compuesto por alrededor de 21% de oxígeno, pero ahí el volumen no equivale a la masa, y esto es importante en los datos. El aire contiene las siguientes porciones:

	N_2	O_2	Ar	CO_2	H_2
% en volumen	78,08	20,95	0,93	0,03	0,01
% en masa	75,51	23,01	1,286	0,04	0,001

De esto resultan los siguientes factores de conversión para aire y oxígeno a 20°C y 1013 hPa:

1 ml de aire = 1,2 mg de aire
1 ml de O_2 = 1,33 mg de O_2
1 ml de aire
contiene 0,21 ml de O_2 = 0,28 mg de O_2
1 mg de aire = 0,83 ml de aire = 0,232 mg de O_2
1 mg de O_2 = 0,75 ml de O_2 = 3,6 ml de aire

La relación de volumen entre el aire y el oxígeno es 1: 0,209

El factor de conversión para el aire y el oxígeno a 0°C y 1013 hPa:

1 ml de aire = 1,293 mg de aire
1 ml de O_2 = 1,429 mg de O_2

El aire en el espacio de cabeza (aire residual, gas residual, headspace) se indica

en ml/botella o lata
en ml de O_2 por botella o lata o
en mg de O_2 por botella o lata.

No debería exceder

0,06 mg de O_2 en botellas de 0,33 l y
0,08 mg de O_2 en botellas de 0,5 l.

Para la evaluación del riesgo en la cerveza embotellada o enlatada es decisiva la determinación del contenido total de oxígeno. El oxígeno total disuelto en la cerveza (incluyendo el oxígeno en el espacio de cabeza) se indica en mg/l (ver al respecto Sección 7.4.3.4). El contenido total de oxígeno no debería exceder 0,10 a 0,15 mg de O_2/l en la cerveza envasada.

Hemos visto que la espuma de burbujas finas generada por la inyección a alta presión asciende hasta la boca y desplaza el oxígeno del aire hacia arriba. En esto, las burbujas de la espuma absorben progresivamente aire y aumentan por ello en tamaño. De este mayor volumen de burbuja se puede deducir que hay una mayor porción de oxígeno disuelto.

Pero no todas las botellas son llenadas tan idealmente:

- en algunas botellas, la espuma no asciende hasta arriba, de manera que queda aire en la boca,
- en algunas botellas sale la corona de espuma por la abertura; la corona de espuma es alterada drásticamente por la fuerza centrífuga en la zona de la estrella y posibilita de este modo un ingreso de aire,
- en la disminución de velocidad, parada y rearranque de la llenadora luego de fallas, tales fenómenos se presentan de forma particularmente frecuente y favorecen un ingreso de aire en la cerveza.

Como resultado aparecen desigualdades en la calidad de la cerveza y con ello un deterioro de imagen.

Es posible controlar permanentemente este ingreso de oxígeno, es decir, en cada botella, y que las botellas objetadas sean empujadas hacia afuera. Para ello se genera durante el pasaje un impulso electromagnético sobre cada tapón corona, por medio del cual se crea un campo electromagnético. De esta manera, el tapón corona es levantado brevemente y soltado nuevamente. Comienza en esto a vibrar brevemente en su centro libre, lo cual puede ser registrado y evaluado por medio de un receptor de audiofrecuencias (Figura 5.38c). De las vibraciones (frecuencia, amplitud) se puede concluir si:

1. la botella está llenada correctamente hasta arriba con espuma de poros finos;
2. la espuma faltante o de poros muy grandes permite asumir una mayor porción de oxígeno;
3. el tapón corona ha sido colocado de forma torcida y con ello no es hermético (llamado así gorro dormilón); o
4. no se ha colocado tapón alguno.

El tambor representado en la figura sirve en esto como comparación con el impulso electromagnético sobre el tapón corona.

A través del control permanente de todas las botellas llenadas y taponadas y la separación del resto de las botellas no llenadas correctamente:

- se garantiza la calidad invariable del producto en el mercado,
- se asegura la estabilidad prevista de la cerveza y se detectan inmediatamente los tapones faltantes o colocados de forma torcida.

Posteriormente, las botellas son:

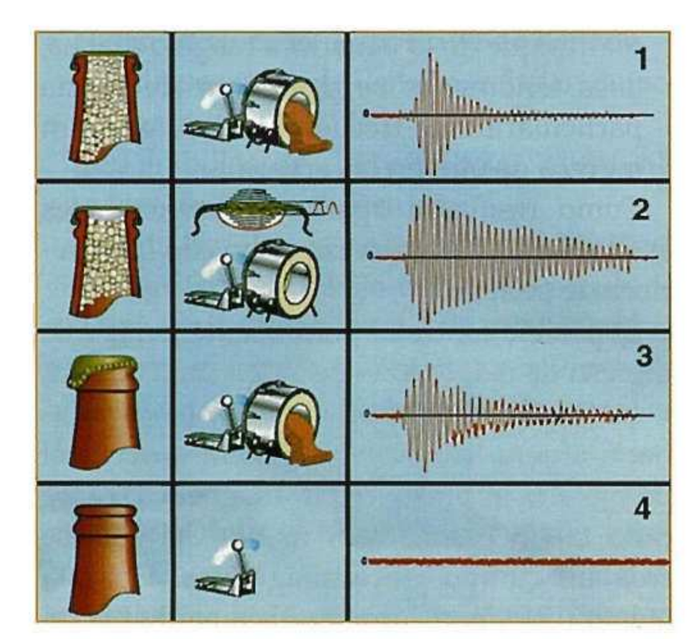


Figura 5.38c
Control del llenado de botella y del tapón por medio de impulso electromagnético
(Empresa Heuft Systemtechnik, Burgbröhl)
(1) botella con material, (2) aire en el cuello de botella, (3) tapón colocado de forma torcida, (4) tapón faltante.

- etiquetadas inmediatamente o,
- primeramente, se las pasteuriza y luego se las etiqueta.

El etiquetado ocurre naturalmente después de la pasteurización, porque de lo contrario la etiqueta recién aplicada sería remojada nuevamente y se perdería por lavado.

5.1.8 Pasteurizado en botellas

5.1.8.1 Principios de la pasteurización en botellas

Cuando se pasteuriza una bebida en la botella, ya no se pueden desarrollar microbios en la bebida. La pasteurización es por ello el método más seguro de estabilización de una bebida, sobre todo si aún contiene substancias fermentables disueltas.

Sin embargo, la precondición para la pasteurización es que se respeten las unidades de pasteurización necesarias (UP; ver al respecto Sección 4.6.1.2.2) –y ello también en la parte más fría de la botella–. Cuando una botella es calentada, la bebida calentada



Figura 5.39:
Movimiento de convección en la botella llena (izquierda) durante el calentamiento, (derecha) durante el enfriamiento

asciende por el lado interior perimetral, en tanto que la bebida aún fría en el centro fluye hacia abajo (Figura 5.39). Por ello se debe buscar la parte más fría de la bebida directamente por encima del centro del fondo. El mezclado y la ecualización de la temperatura sólo se producen lentamente. Además, la transferencia de calor es retardada por la mala conductividad de calor del vidrio.

En la pasteurización se calienta todo el contenido de la botella a la temperatura de pasteurización deseada, la cual se mantiene durante el tiempo correspondiente para proveer a la bebida las unidades de pasteurización (UP) necesarias para la destrucción de todos los contaminantes. Debe en esto tenerse en cuenta lo siguiente:

Los líquidos y gases se expanden cada vez más con temperatura creciente. Si sólo hay disponible un volumen limitado, el volumen del gas se comprime durante el calentamiento bajo aumento de presión. Por el contrario, los líquidos no son comprimidos (son incompresibles); continúan expandiéndose -independientemente de la presión en formación-. Referido al contenido de la botella, esto significa:

Si una botella a ser pasteurizada es llenada totalmente (sin colchón de gas) con bebida, el contenido se expande cada vez más con el calentamiento. La sobrepresión de varios bar que se forma conduce inevitablemente a que la botella reviente en algún momento. Tampoco un colchón muy pequeño de gas puede impedir la rotura del vidrio, dado que el tapón también soporta normalmente una presión mayor.

Esto significa:

En la pasteurización debe haber un colchón de gas suficientemente grande para amortiguar la formación de una sobrepresión demasiado grande dentro de la botella.

Se calcula con un espacio necesario de gas de aproximadamente un 4% del volumen de la botella; en una botella de 500 ml, esto es aproximadamente 20 ml, si el valor fijo de presión interior (en botellas de cerveza > 10 bar) no debe ser excedido. El volumen bruto indicado en cada botella es 520 ml en el caso de botellas de 0,5 l.

Durante la pasteurización, las botellas son conducidas lentamente a través del pasteurizador tipo túnel y son calentadas por rociado con agua tibia y caliente. En este proceso son pasteurizadas y posteriormente enfriadas nuevamente.

Este proceso dura aproximadamente una hora. De esto resulta un requerimiento de superficie de 3 a 3,5 m^2/(1000 botellas · h). Esto hace que el pasteurizador tipo túnel sea por lejos el equipo más grande de toda la planta embotelladora. Es por ello que los pasteurizadores tipo túnel de mayor tamaño frecuentemente son construidos en dos pisos para ahorrar espacio.

5.1.8.2 Componentes esenciales del pasteurizador tipo túnel

El pasteurizador tipo túnel está compuesto por:

- un bastidor de máquina con accionamiento,
- una cinta de charnelas para el transporte de botellas,
- un dispositivo de rociado con
- un dispositivo para la regulación del balance térmico y de agua,
- un sistema importante de bombas y tuberías, y
- un sistema de refrigeración de retorno.

Aparte de ello, los pasteurizadores tipo túnel pueden tener un dispositivo para la regulación de UP durante paradas de máquina.

Bastidor de máquina

El bastidor de máquina en forma de caja es una construcción soldada autoportante de hasta 30 m de longitud, en la cual se encuen-

tran incorporadas las zonas individuales de temperatura con techo, paredes laterales y piletas colectoras de agua. El espacio interior puede ser observado a través de ventanas de inspección de gran superficie. Las piletas colectoras están construidas con pendiente para propósitos de limpieza. Tamices insertables de malla estrecha retienen suciedades que podrían obstruir las toberas rociadoras. El agua es bombeada por bombas en un circuito dentro de la sección.

El accionamiento del transporte de botellas es realizado a través de un motorreductor regulado por frecuencia. Un brazo de reacción, que se encuentra bajo presión de muelle, con contacto interruptor de fin de carrera, protege al motor contra sobrecargas. El tiempo de pasaje y las temperaturas son ajustados automáticamente por el programa seleccionado.

Cintas (bandas) transportadoras

Las botellas son transportadas por una cinta transportadora que circula de forma continua a través de las zonas de temperatura de la máquina. Se utilizan en esto sobre todo:

- cintas de plástico resistentes al calor, por ejemplo, cintas de Intralox sobre listones de acero inoxidable y
- cadenas de cinta de charnelas de acero inoxidable sobre listones de plástico de desgaste reducido.

Las bandas de malla estrecha garantizan un trabajo seguro y un transporte sin fallas, y una transferencia segura en la entrada y la salida.

Dado que las cintas de varios metros de ancho son sometidas a mucha exigencia, se utilizan a veces dos cintas por cada nivel.

Puesto que las cintas pasan con las botellas a través de la máquina, las mismas se calientan y vuelven a enfriarse con las botellas; esto exige más a las cintas de acero inoxidable que a las cintas de plástico, que son menos reactivas. A pesar de ello se produce una pérdida de energía en esto. Para ahorrarse esta pérdida se desarrolló el proceso de paso de peregrino.

Proceso de paso de peregrino

En el proceso de paso de peregrino, las botellas están paradas sobre barras fijas paralelas de un emparrillado. Por medio de un mecanismo muy peculiar, unas barras móviles de emparrillado que se encuentran entre las anteriores elevan las botellas por ciclos, las mueven un (pequeño) paso de peregrino hacia adelante y las descienden nuevamente.

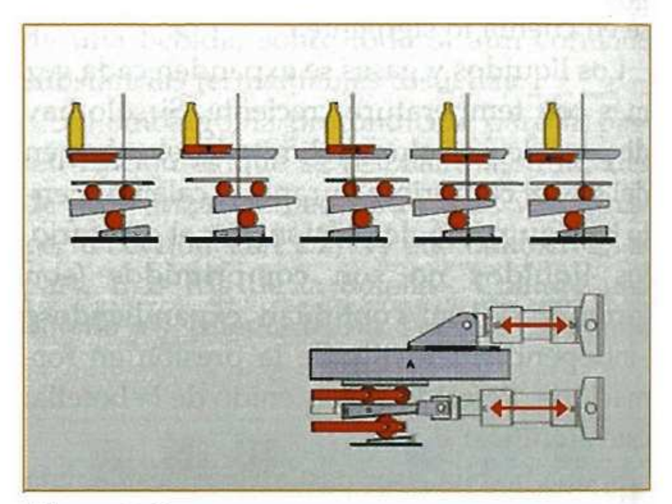


Figura 5.40
Proceso de paso de peregrino

El movimiento hacia adelante ocurre por elevación y movimiento de las barras de emparrillado intermedias. Luego, la botella es bajada por medio del descenso de las barras y éstas son movidas hacia atrás. El mecanismo para ello es complicado y sólo factible de entender si siempre se vigila la línea de referencia.

En la Figura 5.40, las barras fijas (negras) de emparrillado se encuentran enfrentadas a las barras móviles (rojas) de emparrillado. Para entender el mecanismo, se debe mantener siempre en el campo visual la relación

e re las barras fijas, negras de emparrillad con las móviles, rojas. Se puede ver cómo la barras móviles de emparrillado son elevadas con la botella, movidas hacia adelante y bajadas un poco más adelante sobre el emparrillado fijo. El emparrillado móvil va nuevamente hacia la izquierda, a la posición de partida.

En esto,

- los movimientos verticales son ejecutados por rodillos templados sobre el plano oblicuo y
- los movimientos horizontales son ejecutados por superficies de deslizamiento horizontales.

Para ello se encuentran instalados dos cilindros hidráulicos al final del pasteurizador.

La distancia entre las barras de emparrillado debe ser elegida de manera tal que esté dada la estabilidad de la botella. La ventaja esencial del proceso consiste en que las barras de emparrillado se mantienen dentro de su rango de temperaturas y en que se evita un calentamiento y un enfriamiento permanentes con las consecuentes pérdidas de energía causadas por esto.

Dispositivo de rociado

Con el dispositivo de rociado se debe lograr que todas las botellas en esa sección sean rociadas uniformemente, y por todos los lados, con agua a una temperatura determinada.

El sistema de rociado está compuesto por tubos rociadores cuadrados, que son extraíbles. En la parte inferior de los tubos rociadores se encuentran grandes aberturas rectangulares, a través de las cuales el agua es lanzada en forma de chorro hacia afuera. Por medio de chapas deflectoras en el interior de la abertura, el agua es revuelta, con lo cual se logra un rociado de gran superficie. De esta manera, y debido a una disposición desplazada de las aberturas de los tubos rociadores, se logra un rociado óptimo de las botellas.

El agua que se escurre es recogida y devuelta nuevamente al circuito por medio de bombas, luego de ser filtrada. El agua es calentada por medio de intercambiadores de calor, que están intercalados en la tubería. Dado que la temperatura exacta es un factor decisivo para que el desarrollo de la pasteurización sea llevado a cabo de forma precisa, la temperatura es regulada.

Balance térmico y de agua, Recuperación de calor

Para el calentamiento del contenido de la botella, la temperatura de rociado debe ser naturalmente más elevada que la de la bebida. Recién al alcanzar la temperatura deseada de pasteurización puede haber concordancia de temperatura entre el agua de rociado y el contenido de la botella.

En la mayoría de los casos se desea continuar procesando la bebida en estado nuevamente enfriado, luego de la pasteurización. Por ello, las botellas deben ser:

- calentadas en varias etapas para que alcancen la temperatura de pasteurización,
- pasteurizadas (mantenidas caliente) y, al final,
- enfriadas nuevamente.

La cantidad de calor que se libera durante el enfriamiento de las botellas calientes y tibias puede ser utilizada para el precalentamiento de las siguientes botellas. Se puede reducir así el consumo de energía y de agua a un mínimo por transmisión de calor entre las zonas de precalentamiento y de enfriamiento (Figura 5.42). Es posible en esto una regeneración múltiple de calor, retornando

- el agua más fría, escurrida de la zona VIII para el precalentamiento en la zona I,
- el agua algo más tibia de la zona VII a la zona II y
- y el agua aún más tibia de la zona VI a la zona III.

De este modo se recupera la mayor parte del calor utilizado. El agua de rebose de las

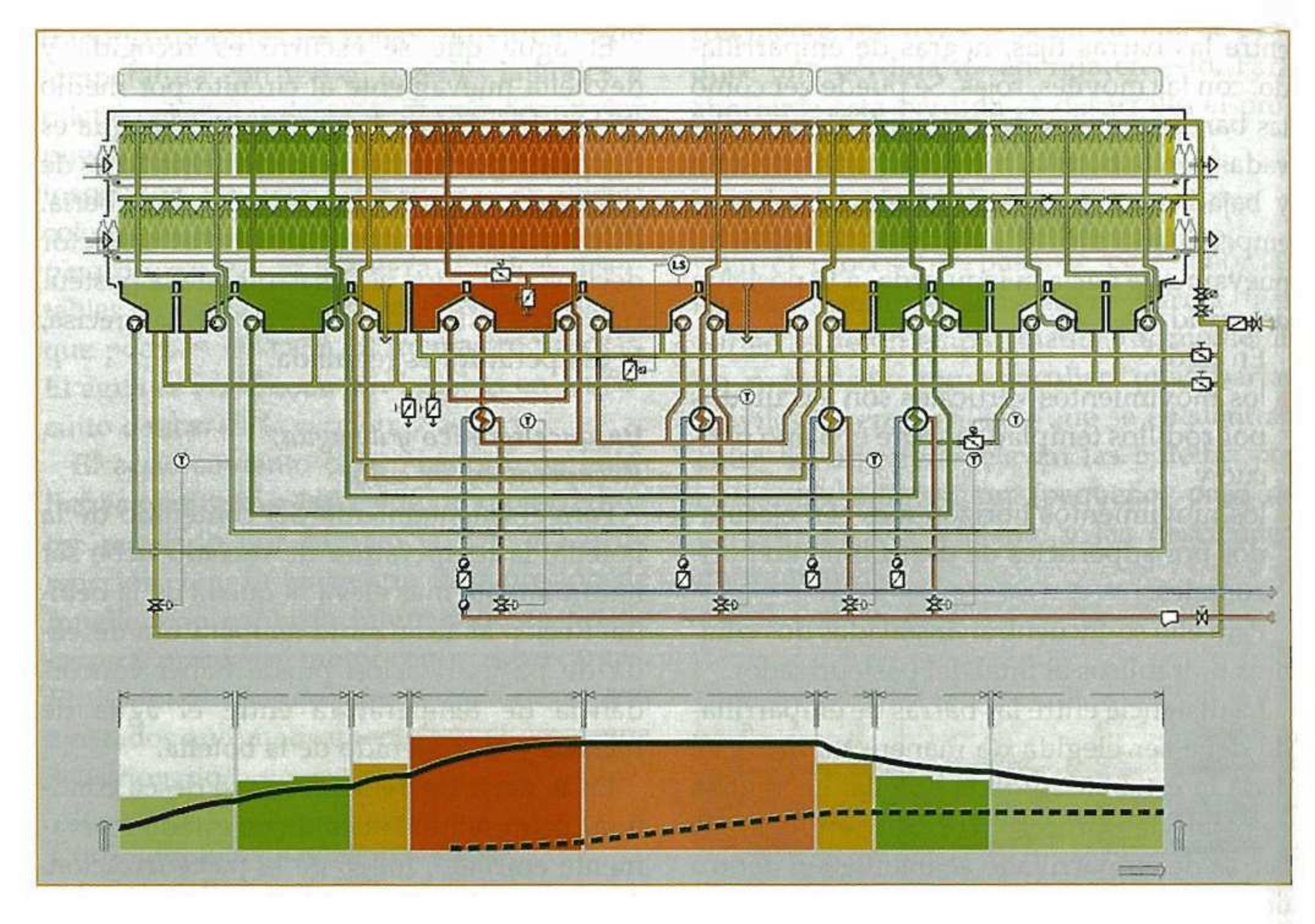


Figura 5.42
Balance térmico y de agua durante la pasteurización de botellas o latas
(H1) zona de calentamiento 1 (transmisión de calor con zona de enfriamiento C3), (H2) zona de calentamiento 2 (transmisión de calor con zona de enfriamiento C2), (H3) zona de calentamiento 3 (transmisión de calor con zona de enfriamiento C1), (S) zona de sobrecalentamiento, (P) zona de pasteurización, (1) agua fresca, (2) tuberías de llenado y de descarga, (3) condensado, (4) vapor

primeras zonas puede ser recogida separadamente y enfriada a través de una torre de enfriamiento. De esta manera se puede reducir substancialmente el consumo de agua de refrigeración en invierno.

De la manera descripta, las bebidas pueden ser pasteurizadas perfectamente si no ocurre un accidente por una parada de máquina, cualquiera sea el motivo. Si no se hace nada al respecto, se produce una sobrepasteurización, porque las botellas mantenidas calientes no pueden continuar moviéndose y ser enfriadas nuevamente. Por este motivo se perjudica el sabor de la bebida y esto puede afectar a muchos miles de botellas en un pasteurizador lleno.

Se debe por ello instalar un fusible de UP.

5.1.8.3 Fusible de UP

En el caso de fallas en el flujo de producción, se deben tomar medidas para prevenir completamente el aumento de UP o al menos mantenerlo en un nivel aceptable. Para ello debe existir una posibilidad:

- de disminuir selectivamente la temperatura en las zonas de pasteurización, por medio de adición de agua fría, luego de un tiempo predeterminado;

- luego de la eliminación de la falla, la temperatura debe ser aumentada primeramente a los valores de consigna, antes de ser conectado el transporte de botellas, de manera de poder alcanzar los valores de UP previstos;
- el descenso y el aumento de temperatura deben ser monitoreados por un control, como función del tiempo;
- una precondición importante para una reducida influencia sensorial sobre la cerveza es que ésta tenga un contenido de oxígeno que sea lo más bajo posible.

Una sobrepasteurización debe ser prevenida ampliamente por medio de un suministro regulado de agua fría a esas zonas y por pasos regulados de control. A través de un ajuste modificable en etapas –de acuerdo con el tiempo de parada– se adiciona sólo tanta agua de enfriamiento, como es necesario, de acuerdo con la duración de acumulación y la UP. Las temperaturas y UP bajo operación normal y continua son comparadas con el estado en el caso de parada de máquina y con la acumulación hacia atrás motivada por ello, que se produce a medida que aumenta el tiempo de parada.

Un ordenador está conectado al proceso de pasteurización y:

- calcula la temperatura de producto y las UP suministradas a partir de las temperaturas de rociado en las zonas individuales y del tiempo de tratamiento para todos los puntos del pasteurizador;
- el desarrollo de la pasteurización es registrado por el ordenador como simulación de proceso. De esta manera, el ordenador puede reproducir el proceso de forma previsora e iniciar medidas de control apropiadas en el caso de fallas;
- el pasteurizador puede ser modificado en su ajuste de rendimiento y puede realizar correcciones apropiadas.

Pero, dado que la parada de máquina sólo puede ser originada por el pasteurizador mismo o por las máquinas y equipos subsiguientes (etiquetado), todas las medidas deberían estar dirigidas hacia un desarrollo

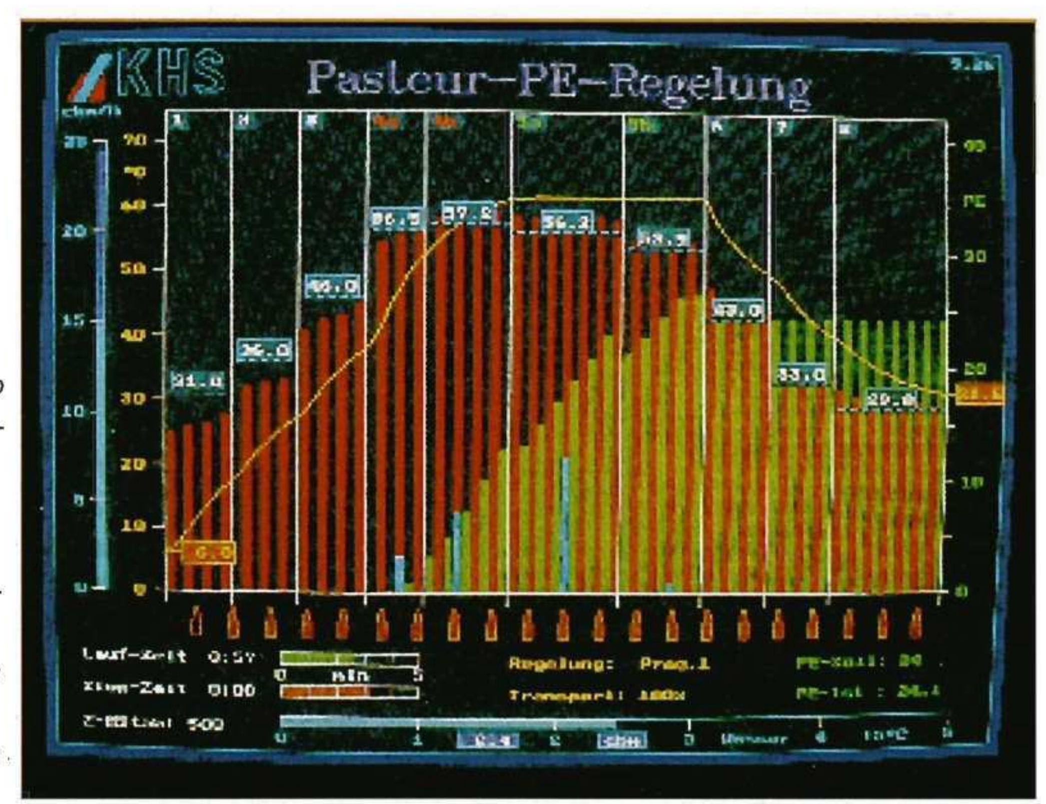


Figura 5.43
El cuadro de monitoreo muestra las temperaturas de rociado (enmarcadas en azul), la temperatura de producto (barras rojas), los valores fijados (línea amarilla) y las unidades de pasteurización suministradas (UP) (barras verdes)

continuo y sin interrupciones con el propósito de mantener la calidad de la bebida.

Por medio de un monitor se puede registrar el desarrollo de la pasteurización con todas las informaciones importantes referentes al proceso (Figura 5.43).

Con el monitor se registran:

- la temperatura de agua de rociado,
- el desarrollo de la temperatura en la botella en función del tiempo,
- el desarrollo del valor de consigna de temperatura.

De esto se calculan las UP obtenidas.

Para la partida en curso ya no es posible una corrección, pero los valores de consigna pueden ser modificados para la partida siguiente (Figura 5.43a).

5.1.9 Etiquetado y encapsulado de las botellas

Hoy en día no alcanza solamente con producir una buena bebida: la botella debe presentarse al consumidor en una forma atractiva. Esto incluye:

- la decoración de la botella con por lo menos una etiqueta y
- a veces también el equipamiento con una cápsula de cierre.

Al respecto, interesan informaciones sobre

- las etiquetas y cápsulas,
- el adhesivo de etiquetas, y
- el proceso de etiquetado.

5.1.9.1 Etiquetas y cápsulas

El diseño de la etiqueta, su forma, su color y su forma de expresión son de una importancia impresionante, que no debe ser subestimada. Muchos consumidores compran con los ojos y prefieren, a igual contenido, aquellas botellas que son más atractivas por su correspondiente presentación, brillantez de colores y forma de expresión.

Las etiquetas pueden ser aplicadas como:

- etiqueta anterior,
- etiqueta posterior,
- etiqueta de hombro o
- etiqueta de cuello.

Aparte de ello son posibles otros etiquetados.

En tiempos recientes gana en importancia el etiquetado envolvente.

El papel de etiqueta contiene las impresio-

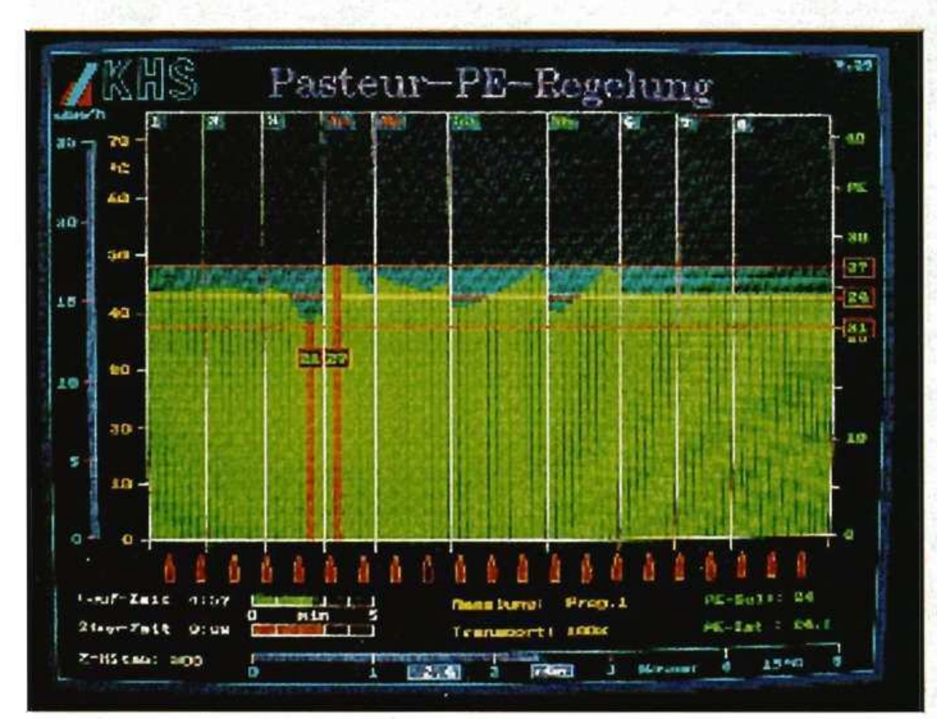


Figura 5.43a
Luego de una parada de máquina, el cuadro de monitoreo muestra un desarrollo regulado de pasteurización

nes importantes y eficaces para la decoración de la botella. Para ello, el papel de etiqueta debe tener las siguientes propiedades:

- Debe ser bueno para ser impreso; para etiquetas doradas o plateadas en el diseño gráfico se exige una capacidad de laqueado y metalizado; para ello, el papel de etiqueta es pintado y alisado de un solo lado.
- Las etiquetas no deben traspintarse o permitir que se pueda ver el fondo, tanto en estado húmedo como en estado seco. Para prevenir esto, se adiciona durante la producción dióxido de titanio como carga para el cubrimiento y el papel crudo es cubierto totalmente con adhesivo. El adhesivo y el color de la botella no deben ser visibles.
- Las etiquetas deben ser resistentes a las lejías. Ya la formación de agua condensada exige un adhesivo resistente al agua. Pero la resistencia de las etiquetas frente a la lejía limpiadora en la máquina lavadora de botellas es especialmente importante para prevenir una separación en fibras.

En algunos países (por ejemplo, EE.UU. Reino Unido, Dinamarca, etc.) se utilizan papeles solubles en líquidos alcalinos, donde las etiquetas se desintegran (formación de pulpa); esto sólo es posible si el equipo de limpieza está diseñado para la separación en fibras y no hay objeciones contra una carga de las aguas residuales.

- Las etiquetas no deben enrollarse o formar arrugas. Dado que solamente es recubierta, impresa y laqueada la cara anterior, las etiquetas tienden a enrollarse si la cara posterior no es tratada o preparada también con una leve aplicación de pigmentos. De este modo se contrarresta la absorción de agua.

La absorción de agua se mide con el valor Cobb (16 a 20 g/m^2), el cual sin embargo no es suficiente para la evaluación cualitativa.

- Para un desprendimiento rápido y completo de las etiquetas en el equipo de limpieza son importantes las siguientes propiedades:
  - el tiempo de penetración de la lejía,
  - la resistencia de los colores de impresión en la lejía,
  - la resistencia a la lejía y
  - la resistencia en estado mojado.

En algunos países, como EE.UU., Reino Unido, Dinamarca, se exige, por el contrario, una solubilidad del papel de etiqueta en la lejía.

- Para el etiquetado cumple un papel importante la orientación de las fibras. La impresión siempre debe ser dispuesta de manera tal que la orientación de las fibras de la etiqueta sea transversal al eje de la botella (Figura 5.44) (mejoramiento del desprendimiento de la etiqueta de la botella por lavado).

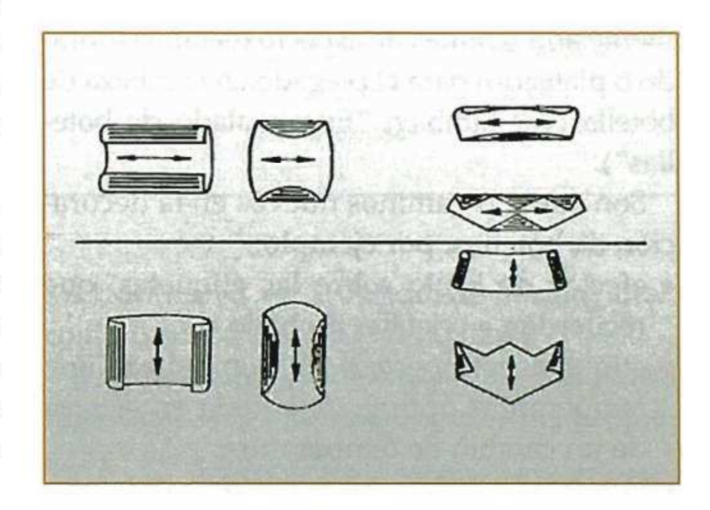


Figura 5.44
Orientación de las fibras en las etiquetas (arriba: correcto; abajo: incorrecto)

Las etiquetas son suministradas y guardadas en pilas almacenables. El almacenamiento debería ser realizado con una humedad relativa de 60 a 70%, y a una temperatura de 20 a 25°C, para asegurar que las etiquetas estén planas.

Una especialidad son las etiquetas envolventes, con las cuales se puede etiquetar las

5

botellas sin adhesivo. Es decir, que el adhesivo no es aplicado sobre la botella, sino sólo como franja sobre la etiqueta, de manera tal que ésta pueda ser quitada antes de la limpieza de la botella. Las etiquetas envolventes son procesadas de forma continua desde la bobina (ver "Sección Etiquetado envolvente"). Se usan sobre todo láminas plásticas de:

- polipropileno,
- polietileno,
- poliestireno, pero también se usan
- etiquetas hechas de papel de etiquetas.

Las láminas tienen la ventaja de ser:

- imprimibles y de que los colores de impresión salgan brillantes y
- algo extensibles en la aplicación y de que más tarde se ajusten más estrechamente a la botella.

Aparte de las láminas utilizadas para el etiquetado envolvente, se emplean frecuentemente aún láminas de aspecto metálico (dorado o plateado) para el plegado en la cabeza de botella (ver también "Encapsulado de botellas").

Son además caminos nuevos en la decoración de botellas, por ejemplo:

- efectos de brillo sobre las etiquetas, que recuerdan a cristales de hielo o
- etiquetas termocrómicas, que indican una temperatura óptima de bebida en el caso de un cambio de temperatura,
- etiquetas caladas, que permiten ver la cara interior de la etiqueta posterior,
- etiquetas tipo no-label-look, que son particularmente eficaces en botellas incoloras.

Los pigmentos de color para la impresión de etiquetas están libres de metales pesados con excepción del color azul. En el azul, el cobre está contenido como combinación compleja. Teniendo en cuenta matizados marginales de color, los colores azules pueden ser impresos también libres de cobre. Los barnices (lacas) utilizados no contienen metales pesados.

El plateado está impreso libre de metales pesados, sobre la base de aluminio. Los colores dorados para huecograbado son fabricados también sobre la base de aluminio, en tanto que en la impresión en offset se usan colores dorados sobre la base de una aleación cobre-cinc.

5.1.9.2 Adhesivo de etiquetas

El adhesivo de etiquetas tiene la tarea de fijar la etiqueta o etiquetas de forma firme y segura en el lugar previsto. Dado que las etiquetas son colocadas por máquinas etiquetadoras de alto rendimiento, son también importantes otras propiedades del adhesivo:

- tiempos de pegado breves,
- espesor reducido de la capa de adhesivo y con ello bajos costos operativos,
- resistencia al agua de condensación para evitar un descentrado ulterior,
- sin formación de hilos en la aplicación del adhesivo.

Pero el adhesivo vuelve a encontrarse en la máquina lavadora de botellas, donde tiene que encargarse de un rápido desprendimiento de la etiqueta. Aun así, posteriormente, el adhesivo de etiquetas se debe poder degradar biológicamente antes de ser introducido en el cauce de desagüe.

La mayoría de los adhesivos en la industria de bebidas son:

- adhesivos de caseína (aproximadamente 90%), además,
- adhesivos de almidón (aproximadamente 9,5%) y
- adhesivos alternativos sobre base sintética.

La caseína es la proteína de la leche. La fabricación del adhesivo se realiza por desintegración de la caseína en un medio alcalino a temperaturas de 50 a 90°C.

Los adhesivos de caseína se caracterizan por depender la viscosidad fuertemente de la temperatura y por un comportamiento tixotrópico (se entiende por esto que el adhesivo es tanto más fluido cuanto más tiempo ha sido agitado). Para poder trabajar sin proble-

mas, la temperatura del adhesivo debe ser mantenida en el nivel especificado (entre 25°C y 3[illegible] °C) un tiempo amplio antes del procesado y durante el procesado. Una bomba de substancias consistentes se encarga del retorno del adhesivo no consumido y de mantener constante la temperatura. Los adhesivos de caseína son utilizados hoy en día para rendimientos de hasta 80 000 botellas/h.

Una bomba de substancias consistentes se encarga de un transporte continuo; el retorno de la cantidad sobrante ocurre por gravedad. La temperatura es mantenida constante por medio de un calentamiento eléctrico y de termostatos.

El adhesivo de etiquetas sobre base de almidón o dextrina es menos dependiente de la temperatura que el adhesivo de caseína. Por este motivo es especialmente apropiado para el etiquetado de botellas tibias o calientes. También estos adhesivos son controlados por termostatos y transportados permanentemente en circuito.

A los tipos individuales de adhesivos se les asignan las siguientes propiedades:

Adhesivo	Ventajas	Desventajas
sobre base de almidón	• resistencia al agua de condensación • apropiado para el etiquetado de botellas calientes	• forma hilos largos
sobre base de dextrina	• alta adherencia superficial • pegado rápido • insensible a helada • también para botellas calientes	• no resistente al agua de condensación • secado rápido • problemas en botellas con tratamiento superficial
sobre base de caseína	• también para botellas frías y mojadas • pegado rápido con enfriamiento de condensación • secado no tan rápido	• menor fuerza adhesiva que los adhesivos sobre base de dextrina • es necesaria la regulación por termostato • resistencia al agua • sensible a helada
sobre base vegetal	• apropiado para botellas calientes y frías • buena resistencia al agua de condensación	• mayor tiempo de pegado • tiempo más prolongado de remojo • sensible a helada

El adhesivo es aplicado de forma total, como franja o de forma reticulada.

Según Kremkow, existen las siguientes relaciones entre las exigencias y las propiedades del adhesivo:

- cuanto mayor es la viscosidad del adhesivo, tanto más rápidamente se logra la estabilidad inicial de la etiqueta,
- cuanto mayor es el contenido de caseína, tanto más fuertemente se adhieren las etiquetas después de 5 min,
- cuanto más delgada es la aplicación de adhesivo, tanto mejor es la resistencia al agua de condensación,
- cuanto más delgada es la aplicación de adhesivo y cuanto menor es el valor pH, tanto más rápidamente se desprenden las etiquetas en el baño de lejía.

El objetivo de la aplicación de adhesivo es

el cubrimiento uniforme de la etiqueta con adhesivo. El espesor de capa debe ser óptimo:

- demasiado grueso: tiempo de pegado más prolongado, riesgo de ensuciamiento
- demasiado delgado: adhesión insuficiente de la etiqueta, embadurnamiento.

5

A los efectos de mantener los costos tan bajos como sea posible, se trata de realizar una aplicación de adhesivo tan reducida como sea posible. En esto, los costos no son sólo causados por el adhesivo mismo, sino también por los aditivos y antiespumantes necesarios para éste en la lejía limpiadora y por la mayor carga debida a ello en las aguas residuales.

Para un consumo económico se calcula con 8 a 15 g de adhesivo/m².

5.1.9.3 Principio básico del etiquetado

El principio básico del etiquetado es: la etiqueta debe estar unida a la botella firmemente y bien derecha justo en el lugar previsto.

Esto se logra por medio de los siguientes pasos (Figura 5.45):

Las paletas de aplicación de adhesivo (2) ruedan contra el rodillo engomador (1) y son abastecidas con una fina película de adhesivo. Cada paleta de aplicación de adhesivo rueda contra el recipiente de etiquetas (3) y extrae una etiqueta por la cara posterior de esta última. En el dispositivo fechador (4) se aplica la fecha de envasado sobre esta etiqueta. Posteriormente ésta es tomada en el cilindro de agarre (5) con dedos de agarre y en el subsiguiente carrusel de botellas (6) es

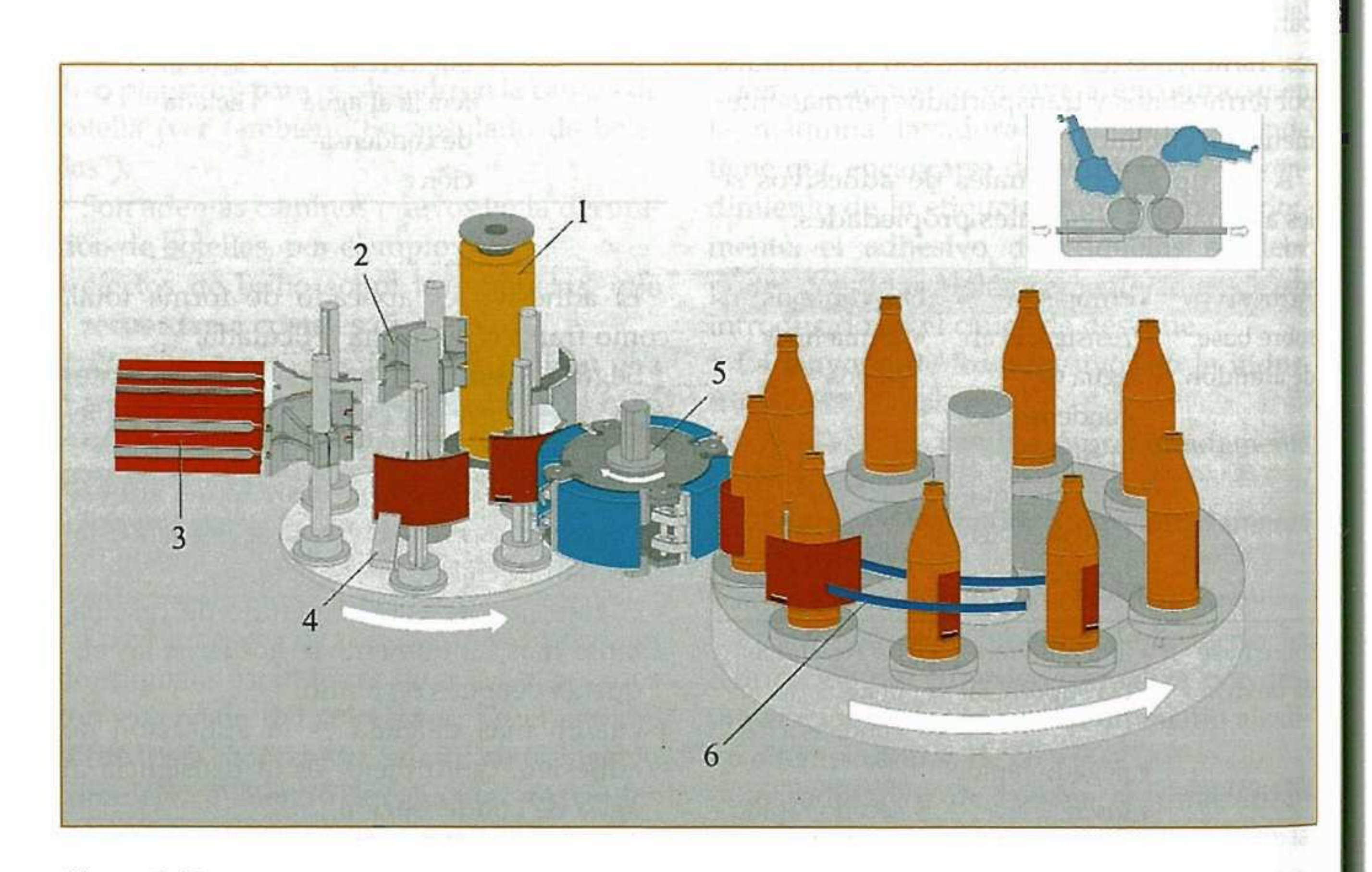


Figura 5.45
Proceso de etiquetado
(1) rodillo engomador, (2) paletas de aplicación de adhesivo, (3) recipiente de etiquetas, (4) dispositivo fechador, (5) cilindro de agarre, (6) cepillado

muelle recuperador
elevador poligona
escape de aire
lubricación
planaca de rodillo
suministro de aire
rodillo seguidor
leva de control
esponja de presión
yunque
dedo de agarre

Figura 5.47 : Cilindro de agarre

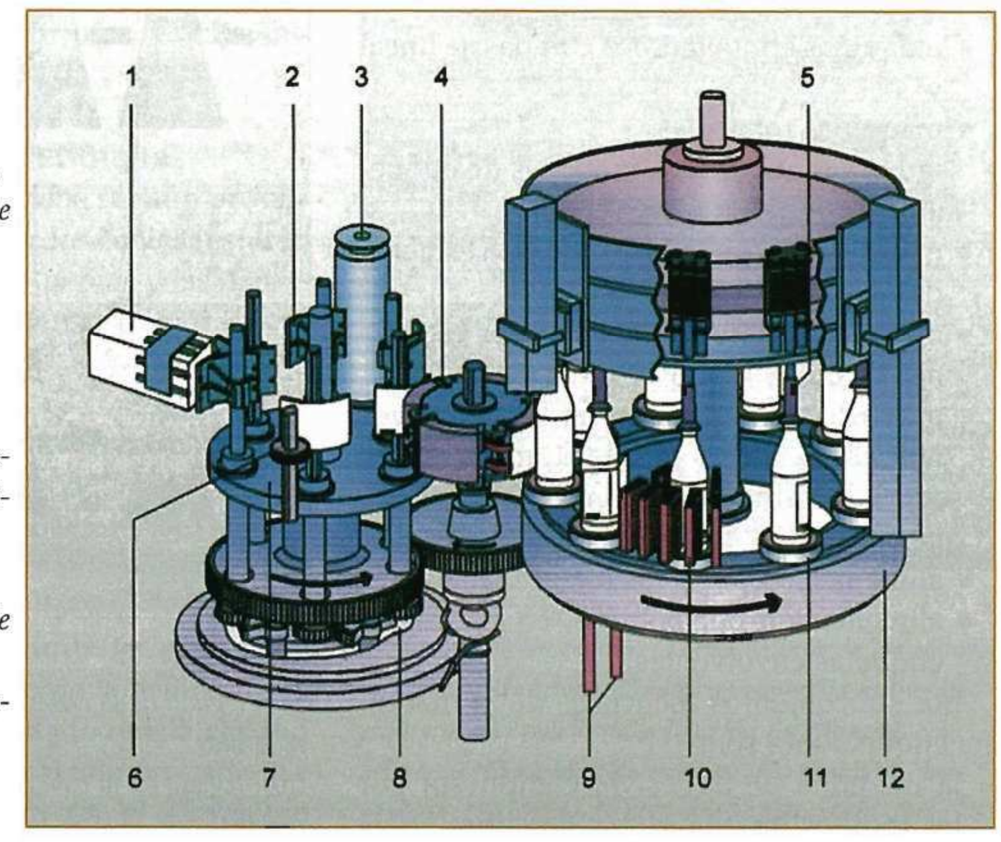


Figura 5.46
Estación etiquetadora
(1) recipiente de etiquetas,
(2) paleta de aplicación de adhesivo,
(3) rodillo engomador,
(4) cilindro de agarre,
(5) campana centradora,
(6) dispositivo fechador,
(7) carrusel de paletas operando en baño de aceite,
(8) leva de control,
(9) circulación de aceite de la mesa de botellas,
(10) dispositivo de cepillado,
(11) placa portabotella,
(12) mesa portabotella.

transferida a la botella con la cara engomada hacia fuera y allí es aplicada con cepillo.

La parte problemática es el cilindro de agarre (Figura 5.47), el cual debe estar bien sincronizado con la toma y transferencia de las etiquetas. La parte más importante en esto es el dedo de agarre, el cual sostiene la etiqueta en la regleta de yunque por los puntos libres de adhesivo en la misma. Los puntos libres de adhesivo se forman por ranuras en las paletas de aplicación de adhesivo.

La apertura y el cierre del dedo de agarre se logran a través de la leva de control, la que abre y cierra el dedo de agarre en tiempos predeterminados por medio del rodillo seguidor de leva y la palanca de rodillo.

El desarrollo completo del etiquetado se reproduce nuevamente en la Figura 5.46.

5.1.9.4 Tipos constructivos de máquinas etiquetadoras

Dependiendo del tamaño de la planta de envasado y de las exigencias respecto de la cantidad de etiquetas a aplicar, se distingue:

- según la forma de pasaje:
  - máquinas etiquetadoras con pasaje lineal y
  - máquinas rotatorias.
- según la cantidad de estaciones de etiquetado:
  - máquinas etiquetadoras con una estación de etiquetado,
  - máquinas etiquetadoras con dos estaciones de etiquetado y
  - máquinas etiquetadoras con mayor número de estaciones de etiquetado.
- según la forma de suministro de las etiquetas:
  - alimentación por pilas almacenables,
  - alimentación por bobinas, en el caso de etiquetas envolventes.

Los subconjuntos esenciales de la máquina etiquetadora son:

- la máquina de adhesivo, compuesta por los rodillos distribuidores de adhesivo, el rodillo engomador y la cuchilla de adhesivo (rascador),
- el cilindro de las paletas de aplicación de adhesivo; las paletas aplicadoras de adhesivo giran sobre su eje de forma uniforme o no uniforme, o efectúan solamente un giro limitado,
- la pila almacenable de etiquetas y el recipiente de etiquetas,
- el cilindro de agarre,
- el accionamiento,
- el control de la máquina y
- el dispositivo fechador.

El control de la máquina debe asegurar:

- sin botella – no hay toma de etiqueta,

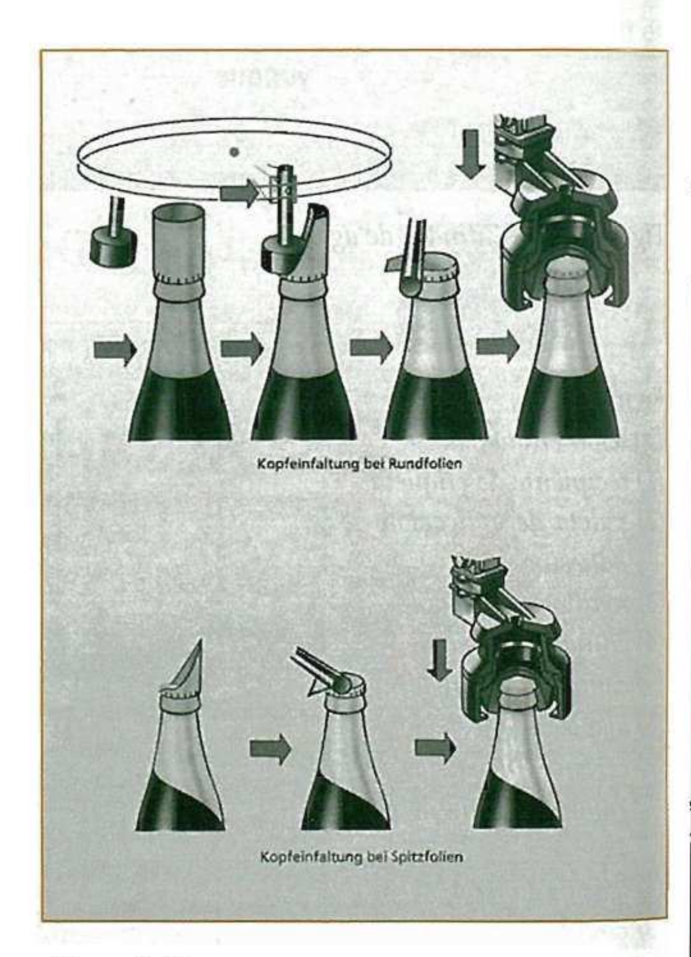


Figura 5.48
(a) Plegado en la cabeza de botella con láminas redondas
(b) Plegado en la cabeza de botella con láminas en punta

- en el caso de falta de botellas, el accionamiento conmuta a velocidad mínima luego de un tiempo predeterminable,
- en el caso de haber botellas, la máquina conmuta a la velocidad de rendimiento normal.

5.1.9.5 Plegado en la cabeza de botella con láminas para encapsulado

En el plegado en la cabeza de botella se aplican láminas de aluminio doradas o plateadas, impresas con publicidad de la empresa como:

- láminas redondas (Figura 5.48) o
- láminas en punta.

Las láminas cortadas son extraídas de una pila almacenable y, de forma análoga al etiquetado, se les aplica adhesivo y se las pone sobre la botella con la punta de la cápsula dirigida hacia la etiqueta.

El plegado en la cabeza de botella ocurre inmediatamente después del etiquetado. Los dispositivos de encapsulado están situados directamente en la cabecera de la máquina, que está acoplada a la estrella de salida, a los efectos de garantizar una marcha sincrónica.

5.1.10 Fechado de las etiquetas

Finalmente, la botella debe ser aún provista de los datos necesarios, los cuales resultan de las regulaciones de cada país y las disposiciones de la planta de envasado, y usualmente contienen:

- la fecha de envasado o de conservación y
- un código de fábrica, con el cual es posible una trazabilidad de la botella hacia atrás.

En Alemania se prescribe para esto la marcación con la fecha mínima de conservación (indicada con la abreviación MHD por Mindesthaltbarkeitsdatum), la cual debe garantizar el buen estado de la bebida hasta esa fecha. Sin embargo, dado que la calidad de sabor se deteriora con el tiempo, cada vez más fábricas de cerveza en el extranjero pasan a imprimir la fecha de envasado (born on date) y a indicar una recomendación de consumo de 90 a 110 días, en lo que respecta a calidad (freshest taste).

Para la marcación se puede utilizar un lugar previsto para ello en el borde de la etiqueta y aplicar allí las informaciones. Se usan para ello:

- dispositivos de sellado para plantas de hasta 60000 botellas/h,
- entallado de la información en la viñeta marginal de la etiqueta impresa,
- dispositivos de gofrado o perforaciones para papeles con superficie laqueada (para rendimientos reducidos),
- impresoras de chorro de tinta con pulverizado de la marcación, sin contacto (ver Sección 5.5.12),
- codificadores por láser.

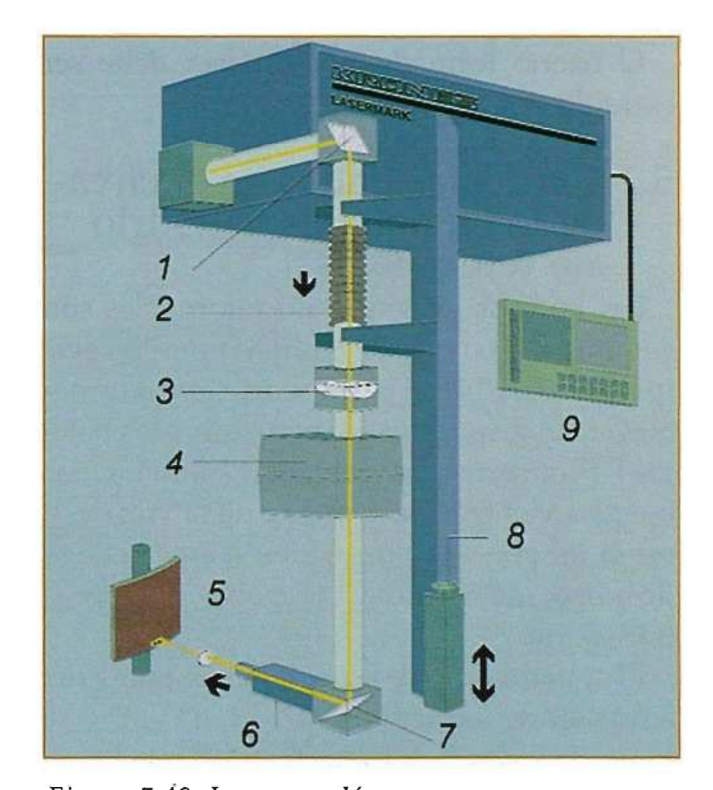


Figura 5.49: Impresora láser
(1) espejo de inversión, (2) trayectoria de los rayos, (3) lente cilíndrica, (4) máscara operada automáticamente, (5) paleta de aplicación de adhesivo con etiqueta, (6) unidad de enfoque, (7) espejo de desviación, (8) ajuste de altura, (9) display LCD

Para la marcación de etiquetas se emplea muy frecuentemente la impresora láser. Se dirige sobre el lugar previsto en la etiqueta un impulso luminoso infrarrojo de aproximadamente 2 µs de duración y elevada energía (hasta 6 J), con ayuda de un sistema de guía de rayos totalmente cerrado (Figura 5.49). En la trayectoria de los rayos se encuentra una máscara metálica con vaciados para la fecha mínima de conservación y la marcación del lote. Estas informaciones son transferidas al lugar previsto en la etiqueta en el término de aproximadamente 0,2 µs por medio de un rayo láser. En esto se evapora de la etiqueta un recubrimiento de color, y se hace visible así un fondo de otro color, o la superficie cambia de color y estructura. En cualquier caso, el rayo láser marca la etiqueta en el lugar previsto de forma muy limpia y atractiva por medio de una radiación muy breve pero efectiva.

El ozono formado por el láser debe ser extraído por aspiración.

5.2 Particularidades en el envasado en botellas de vidrio no retornables

Las botellas de vidrio no retornables son suministradas por la vidriería en paletas (palets). Las botellas de vidrio no retornables están dispuestas en capas sobre las paletas y protegidas con películas. Dado que las botellas vienen directamente de la vidriería, están limpias y sólo pueden contener algo de polvo de vidrio y de polvo debido al transporte.

El tratamiento de estas botellas antes del envasado se reduce a:

- desplazarlas o levantarlas de la capa de paleta y
- un rociado de enjuague en la enjuagadora para quitar partículas de polvo. A veces se prescinde del rociado de enjuague.

Sin embargo, es un prerrequisito que la película de protección de la paleta no esté dañada y que la formación sobre la paleta no se encuentre desordenada.

5.2.1 Descarga de las botellas de vidrio nuevas

Para la descarga, la paleta es elevada por capas y las botellas de vidrio nuevas son deslizadas capa por capa (ver al respecto Figura 5.72). Esto debe ocurrir muy cuidadosamente para que ninguna botella se tumbe, lo cual puede causar rápidamente una caída en masa (ver al respecto 5.5.2).

Alternativamente, las capas pueden ser elevadas también por medio de pinzas de sujeción. Las placas intercaladas son juntadas y recicladas.

5.2.2 Enjuague

Las botellas nuevas vienen del fabricante y no contienen residuos de bebidas; debido al proceso para su fabricación, están casi estériles. La pequeña cantidad de polvo de vidriería contenida en ellas puede ser quitada por rociado de enjuague en una enjuagadora.

Enjuagadora de botellas

Las enjuagadoras de botellas son construidas usualmente como máquinas rotatorias. Para poder realizar un rociado de enjuague de las botellas que ingresan sobre la cinta, éstas deben ser giradas de manera tal que su boca apunte hacia abajo. Para ello, las enjuagadoras están equipadas con pinzas de agarre de plástico, que toman las botellas de manera cuidadosa, las elevan, las rotan en 180° y las fijan exactamente sobre los cabezales rociadores de la enjuagadora. La elevación y el posterior descenso de las botellas se logran por medio de un recorrido de leva, que comanda el dedo de la pinza de agarre de la botella.

La botella es sometida a un rociado de enjuague durante su pasaje a través de la enjuagadora; el rociado de enjuague puede ser realizado con agua fría. Pero, en el caso

de enjuagadoras con mayor cantidad de secciones, por medio de un suministro separado de medios hasta las toberas, se puede rociar también agua fría y/o caliente, e insuflar aire para extraer de esta manera más rápidamente restos de líquido. El tiempo total de tratamiento de las botellas está en el orden de aproximadamente 8 a 10 segundos. El control es realizado a través de un disco obturador. El agua que escurre es recogida en piletas y es drenada.

La Figura 5.50 muestra una enjuagadora comandada mecánicamente con sus partes esenciales. El pasaje de las botellas ocurre aquí en el sentido de las agujas del reloj. El agua de rociado es introducida por (9) y distribuida, a través del distribuidor (6), en las toberas rociadoras (7), las cuales no están representadas en su totalidad. La evacuación del agua de las botellas ocurre, a través de la canaleta de drenaje (11), a la descarga (12).

Para mantener una pureza biológica del agua fresca se recomienda adicionar 0,2 a 0,3 mg de dióxido de cloro (ClO_2) por litro de agua, lo cual mejora la calidad biológica del agua, pero no forma clorofenol. La medición y regulación ocurre por medio de un equipo de medición de redox, a través del cual se puede ajustar de forma relativamente exacta el contenido de dióxido de cloro en mg/l.

5.3 Envasado en botellas de PET

Hoy en día, las bebidas son envasadas cada vez más en botellas de plástico. En tiempos recientes, esto ocurre particularmente también en el envasado de cerveza.

Las botellas de plástico ofrecen una serie de ventajas:

- son muy livianas –una botella de 0,5 litros pesa menos de 30 g,
- no se astillan y de esta manera no causan daños,

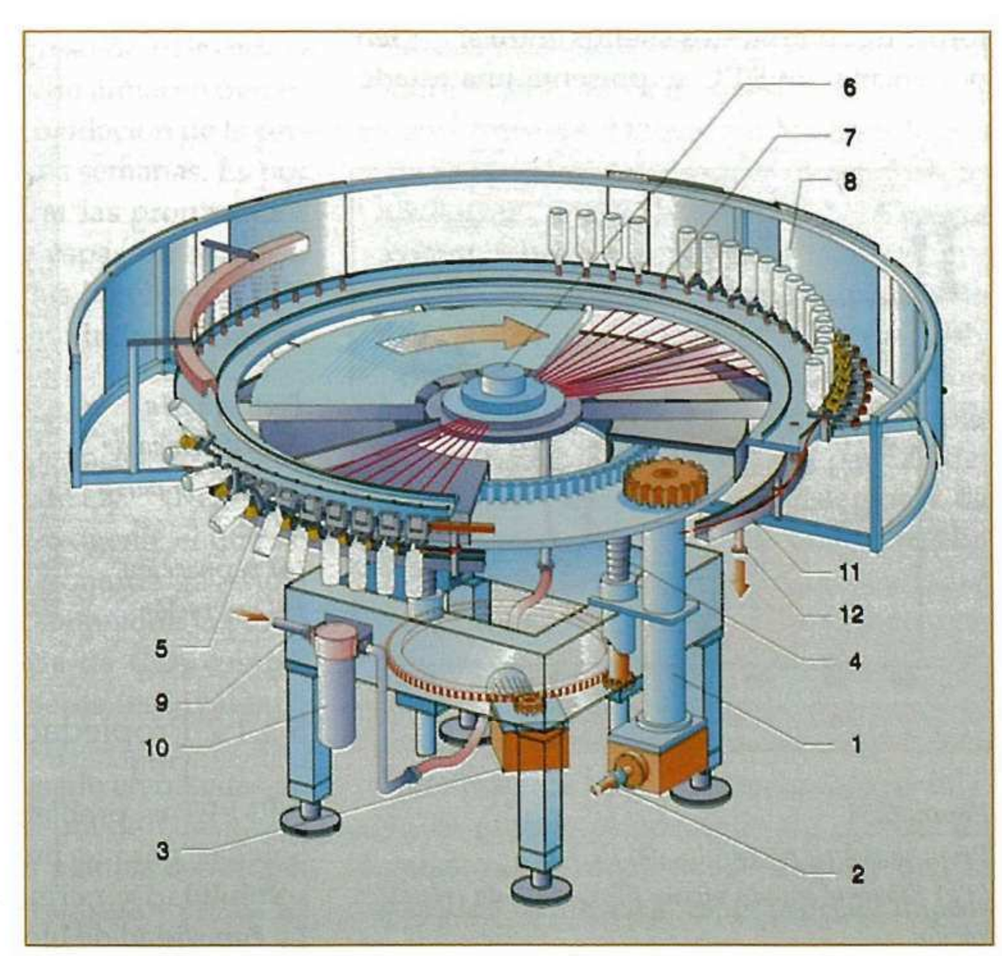


Figura 5.50
Enjuagadora comandada mecánicamente
(1) accionamiento de plato giratorio,
(2) árbol articulado,
(3) motor de accionamiento,
(4) regulación de altura,
(5) pinza,
(6) distribuidor,
(7) tobera rociadora,
(8) cubierta de protección,
(9) entrada de medios,
(10) filtro de partículas,
(11) canaleta de drenaje,
(12) descarga de medios.

- la misma fábrica de cerveza puede producir las botellas,
- la fábrica de cerveza puede diseñar las botellas con formas individuales.

Pero las botellas de PET tienen también desventajas, las que se detallan a continuación de forma más precisa.

5.3.1 Botellas de PET

El PET es considerado el material de preferencia para la fabricación de botellas de plástico. El PET (polietilentereftalato) es un poliéster, que es policondensado en una fusión a partir de etilenglicol y ácido tereftálico.

5.3.1.1 Propiedades estructurales del PET

La estructura interna del PET depende fuertemente de la temperatura (Figura 5.51). Por debajo de aproximadamente 80°C, las cadenas de moléculas se encuentran en forma de compuestos sueltos entre sí; recién por encima de 80°C se presenta una estado vítreo (Tg). Se debe alcanzar mínimamente esta temperatura para poder realizar un modelado apropiado del material. Por el contrario, por encima de 120°C se produce un estado semicristalino, que se presenta como formación y crecimiento de estructuras esféricas en el material. Este estado alcanza su clímax a aproximadamente 160°C (Tc) y el material cambia ahí a una estructura blanco-lechosa y opaca. Con ello resulta para el moldeado de botellas de PET un rango de temperaturas de 90°C a 125°C. Normalmente se trabaja en el moldeado con aproximadamente 110 - 115°C. La estructura formada a la temperatura más alta no es reversible en el enfriamiento.

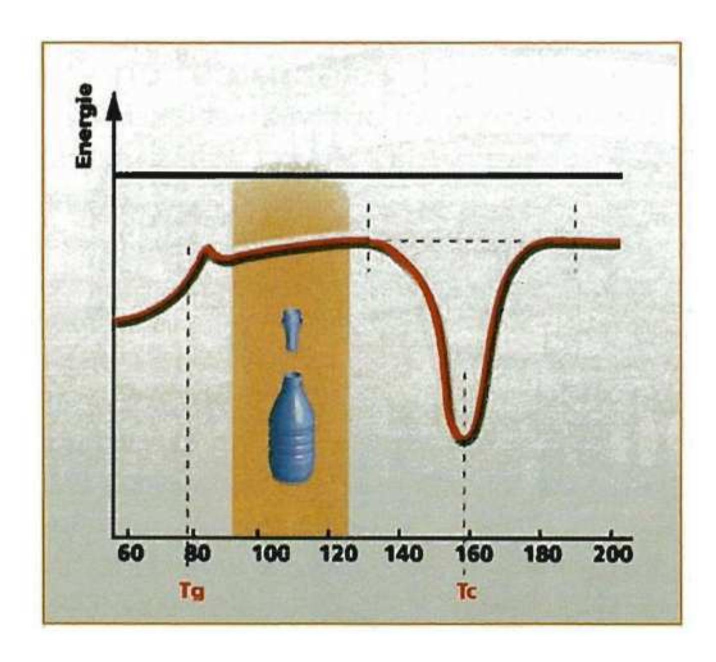


Figura 5.51
Propiedades estructurales del PET
(Tg) pasaje al estado vítreo, (Tc) punto de cristalización

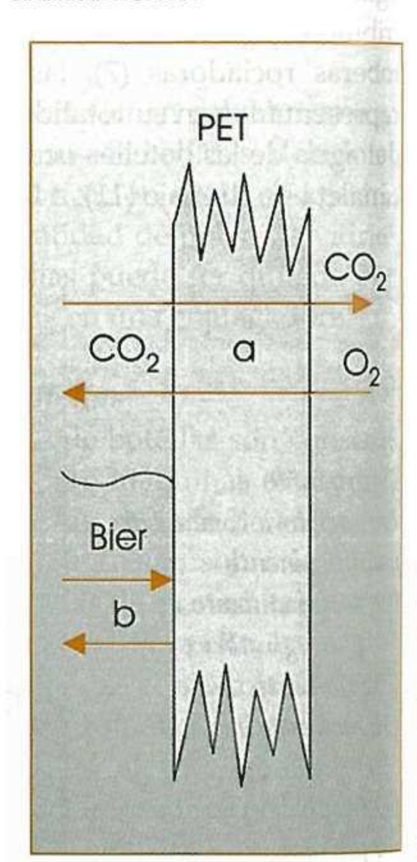


Figura 5.51a
Transferencia de masa en la pared de PET
(a) permeación,
(b) migración

5.3.1.2 Propiedades de barrera del PET

El PET es problemático como material de botellas porque presenta una considerable solubilidad y permeabilidad frente a gases. La capacidad de bloqueo de una pared sepa-

radera con respecto a un intercambio de gases se denomina "propiedad de barrera" y el intercambio de gases en sí se denomina "permeación". Entre el contenido de la botella y la pared se produce además una transferencia de masa, que es denominada "migración" (Figura 5.51a). Todos estos procesos de intercambio cumplen un papel importante con el PET.

El rol más importante es cumplido en esto naturalmente por el oxígeno, el cual tiene una influencia decisiva sobre la estabilidad de sabor de la cerveza. Debe remarcarse primeramente que, bajo condiciones atmosféricas y temperaturas ambientales normales, se disuelven alrededor de 0,012 mg de O_2 por cada 1 mg de PET [277]. Dicho de otra manera [278]: 150 ppb/botella de 0,5 l. Esto no es justamente poco, y el contenido aumenta con la antigüedad de la botella. Debido a la diferencia de presión parcial del O_2 que existe entre la cerveza y la atmósfera circundante, ocurre un elevado ingreso de oxígeno, el cual, a altas temperaturas de almacenamiento, puede conducir a una oxidación de la cerveza en el término de pocas semanas. Es por ello que se trata de mejorar las propiedades de barrera por medio de capas de bloqueo. Las permeabilidades de las botellas de PET de 0,5 l se encuentran en (indicaciones en µg/día a 23°C) [277]:

- botellas multicapa 8 - 15
- botellas vaporizadas por vacío 4 - 10
- botellas con Scavenger de O_2 0 - 2

Junto con el ingreso de oxígeno, el que no ocurre únicamente en la zona de gases del cuello de la botella, sino sobre toda la pared de botella, la transferencia de CO_2 cumple un papel cuantitativamente equivalente, pero de menor importancia.

Es por ello que un envasado en botellas no tratadas de PET sólo se puede considerar para aguas sin gas. Tales plantas continúan siendo construidas y operadas hoy en día en gran cantidad.

Para poder envasar también cerveza en botellas de PET, todas las consideraciones deben estar dirigidas a excluir el ingreso de oxígeno en la botella o a reducirlo a una medida aceptable. Para ello sirven las capas bloqueadoras (layer) o recubrimientos.

5.3.1.3 Tecnología de barrera

Las tecnologías de barrera se encuentran actualmente (2004) todavía en desarrollo. Sin embargo, se cristalizan algunos procesos, que ya son operados con éxito:

- Plasma coating: por recubrimiento interior (Glaskin, Actis) o exterior (Best PET) se forma una barrera pasiva contra oxígeno, que previene su penetración. En el proceso Actis (Sidel, Viernheim), las paredes interiores de las botellas de PET son recubiertas con carbono amorfo, que está fuertemente enriquecido con hidrógeno. En comparación con las botellas comunes, no tratadas de PET, el efecto de barrera aumenta 30 veces y con ello es posible una conservabilidad de 6 meses.
- Granulado de barrera: en las tecnologías de PEN y Barex se producen granulados de barrera, que ejercen una barrera pasiva contra el ingreso de oxígeno.
- Capas de bloqueo (Monolayer, Multilayer): Bind-Ox®, Bind-Ox+™, Amosorb, Aegis Ox, CPT312, Oxbar. En esto se incorporan hasta tres (y hasta inclusive 5) capas como material de barrera a la pared exterior para prevenir una transferencia de masa y aumentar decisivamente la estabilidad de la cerveza. Sin embargo, en todos los procesos de barrera, es importante que se asegure la capacidad de reciclaje del material de botella.

Veremos más abajo que, en el caso de PET, sólo es posible el envasado de cerveza en botellas no retornables, de manera que la capacidad de reciclaje es de especial importancia.

5.3.1.4 Importancia de los Scavanger

Hemos visto ya con el tapón corona que se puede ligar bien oxígeno por integración de un Scavanger en el inserto. Los Scavanger de O_2 son substancias sobre la base de $NaSO_2$, las cuales ligan así el oxígeno de manera tal que ya no está disponible para una reacción con el medio envasado. Sin embargo, el Scavanger tiene sólo una capacidad limitada de absorción de oxígeno.

Para el cierre de botellas de PET se consideran usualmente (pero no obligadamente) tapones roscados de plástico (ver Sección 5.3.5), a través de los cuales puede ocurrir un ingreso incrementado de aire al espacio de cabeza. Por medio de un compuesto sellador con inserto de Scavanger para O_2, se pueden ligar químicamente 2 - 4 mg de O_2 y prevenir con ello de forma efectiva una permeación al interior de la botella.

Es diferente con el ingreso de oxígeno a través de la pared exterior, el que se trata de evitar por medio de las capas (layer). Vale la pena incorporar el Scavanger mismo en la pared del recipiente, como capa de bloqueo activa, y proteger contra el oxígeno atmosférico por medio de una capa de bloqueo de oxígeno orientada hacia afuera.

Otras propiedades del plástico

El plástico tiene la capacidad de ligar determinados componentes aromáticos, tales como el acetaldehído, y de liberarlos más tarde. Esto excluye el uso de botellas de PET como botellas retornables para el envasado de productos de diferentes tipos (cervezas, refrescos, agua).

Las macromoléculas de los plásticos están sujetas a envejecimiento debido a solicitaciones mecánicas y térmicas. El envejecimiento se presenta en forma de "engrisamiento" del polímero, que son rayaduras y fisuras por esfuerzos, llamadas "stress cracks", que aparecen con el uso progresivo y conducen a la separación de estas botellas del resto durante la inspección de botellas retornables. Las fisuras por esfuerzos ya no se dejan limpiar completamente y constituyen con ello un riesgo de contaminación. Sin embargo, este efecto (todavía) no aparece en el caso de botellas no retornables que se detalla aquí.

5.3.2 Fabricación de las botellas de PET

La fabricación de las botellas de PET se realiza en dos etapas:

- la fabricación de las preformas y
- el estirado y soplado de las botellas de PET.

5.3.2.1 Fabricación de las preformas

La fabricación de las preformas de etilenglicol y ácido tereftálico se efectúa en empresas especializadas (por ejemplo: Rexam Petainer Lidköping AB, S) según el proceso de moldeo por inyección. En éste ocurre el conformado completo de la boca con la rosca y el anillo del cuello, el cual sirve para el transporte de las botellas superlivianas. Esta parte ya no es modificada en los procesos subsiguientes. La parte "inferior" de la preforma es diseñada en tamaño y cantidad de material de manera tal que la botella disponga en su forma final y en todos lados del espesor de pared necesario (Figura 5.52).

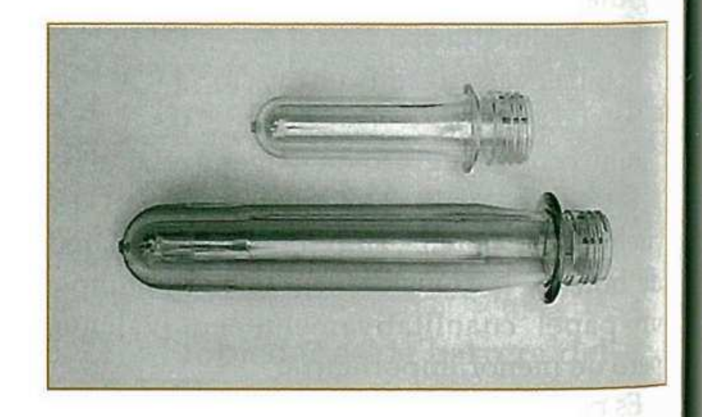


Figura 5.52
Preformas
Se ve la rosca completamente formada con el anillo de transporte (anillo del cuello)

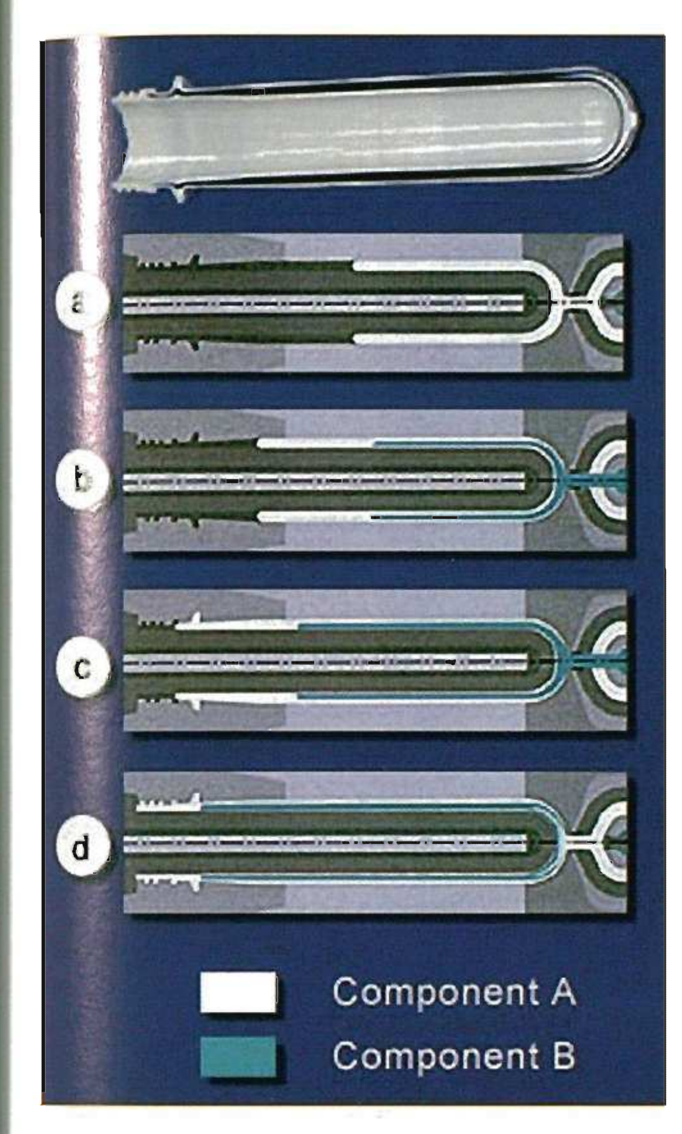


Figura 5.52a
Formación de la preforma multicapa (Amcor PET Packing)

Durante el conformado de las preformas multicapa, los polímeros de barrera deben ser cofundidos (Figura 5.52a).

Las preformas son producidas en gran escala por los fabricantes y vendidas desordenadas en grandes contenedores.

5.3.2.2 Estirado y soplado de las botellas de PET

El estirado y soplado de las botellas de PET es realizado usualmente hoy en día directamente en la planta de envasado (Figura 5.53). Las fábricas de cerveza más pequeñas adquieren las botellas de PET ya conformadas de una estación (común) de soplado.

Las preformas suministradas en grandes cantidades son guardadas en grandes contenedores de almacenamiento (2) y orientadas en el dispositivo orientador (4) con la boca hacia arriba. A través de un carril de alimentación (5) u otro medio de transporte, las preformas ingresan en el horno lineal alargado (7) y son calentadas lentamente por medio de cajas de calentamiento. A través de una estrella de transferencia, las preformas llegan ahora a la estación de soplado y son encerradas en un molde de soplado en la rueda de soplado (Figura 5.53a). El anillo del cuello con la rosca queda afuera y es enfriado. Se inicia ahora el proceso de estirado y soplado con la introducción del tubo de soplado, el cual, primeramente, causa un estirado del cuerpo de preforma (Figura 5.53b). Tan pronto como ha sido alcanzado el fondo, se forma una burbuja en la parte superior que a continuación se mueve hacia abajo y que finalmente llena todo el molde: la nueva botella está terminada; todavía debe ser enfriada para que mantenga la forma. La Figura 5.54 muestra una vez más las diferentes estaciones del conformado de la botella de PET a partir de la preforma.

Si se desea llenar las botellas de PET con cerveza, se debe aplicar en una serie de procesos una capa de bloqueo –interior o exteriormente–. Dado que primeramente la capa debe secarse, antes de que las botellas puedan ser llenadas, éstas deben ser apiladas y estacionadas durante algún tiempo. ¡Esto cuesta tiempo y dinero! Se está por ello interesado en desarrollar procesos que posibiliten también en el envasado de cerveza un flujo de producción ininterrumpido desde la rueda de soplado a la llenadora.

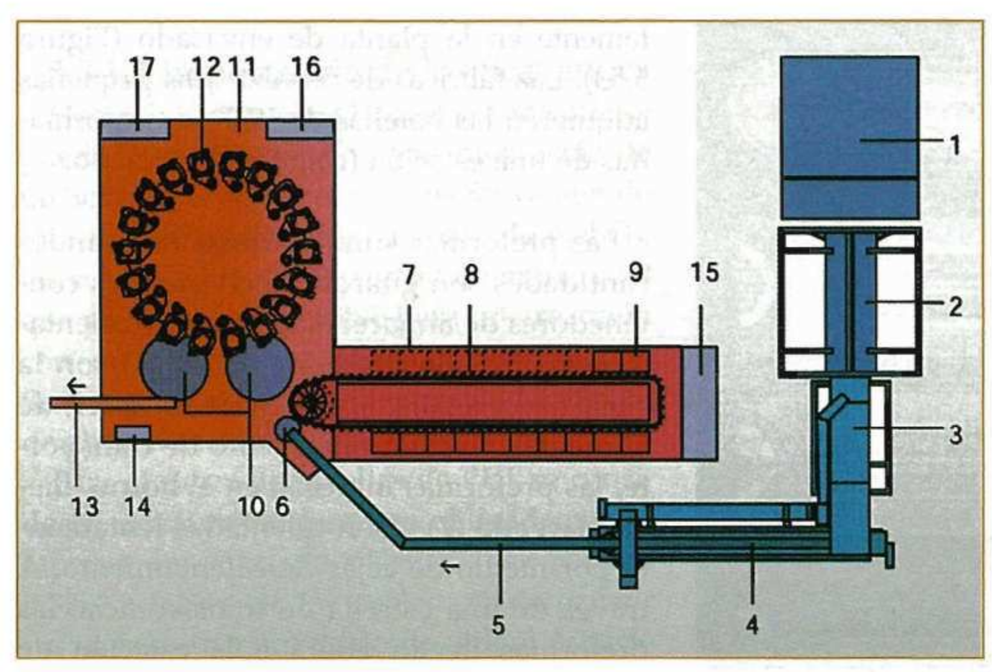
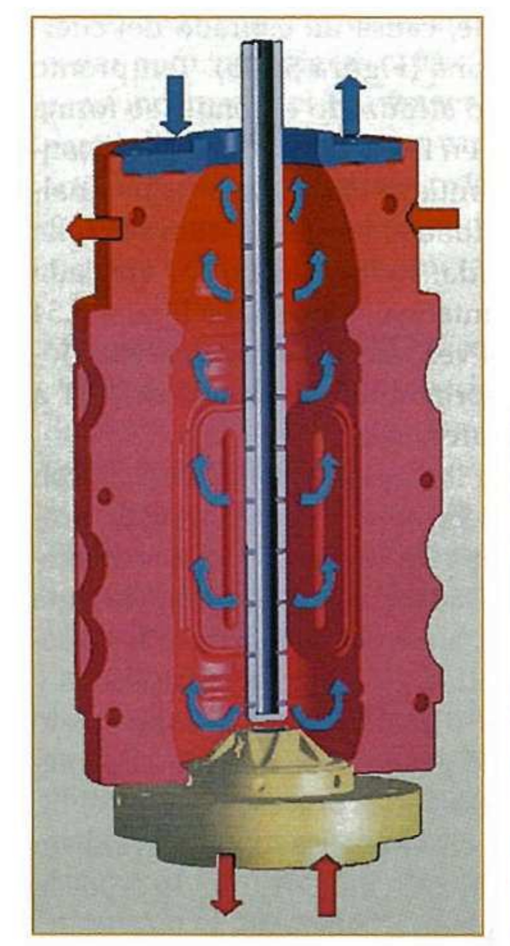


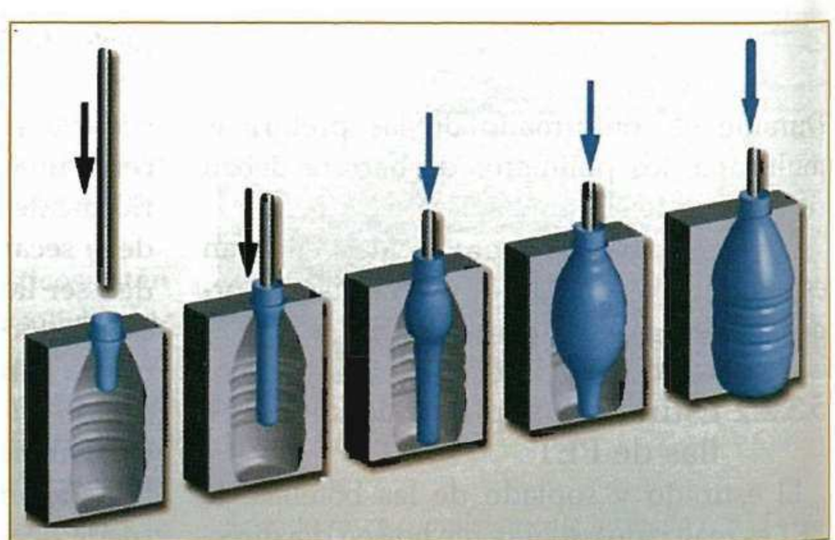
Figura 5.53
Vista de conjunto de una máquina estiradora y sopladora Contiform S (Krones)

(1) dispositivo volcador de preformas, (2) contenedor de almacenamiento de preformas, (3) elevador de preformas, (4) dispositivo de rodillos orientadores de preformas, (5) carril de suministro de preformas, (6) estrella de entrada, (7) horno lineal, (8) cadena de calentamiento, (9) cajas de calentamiento, (10) estrella de transferencia, (11) estación de soplado, (12) rueda de soplado, (13) transportador de aire, (14) unidad de operación, (15) gabinete de mando, (16) suministro de agua, (17) suministro de aire.



◄ *Figura 5.53a*
Molde de soplado

Figura 5.53b
Conformado de la botella en el molde de soplado (Sidel) ▼



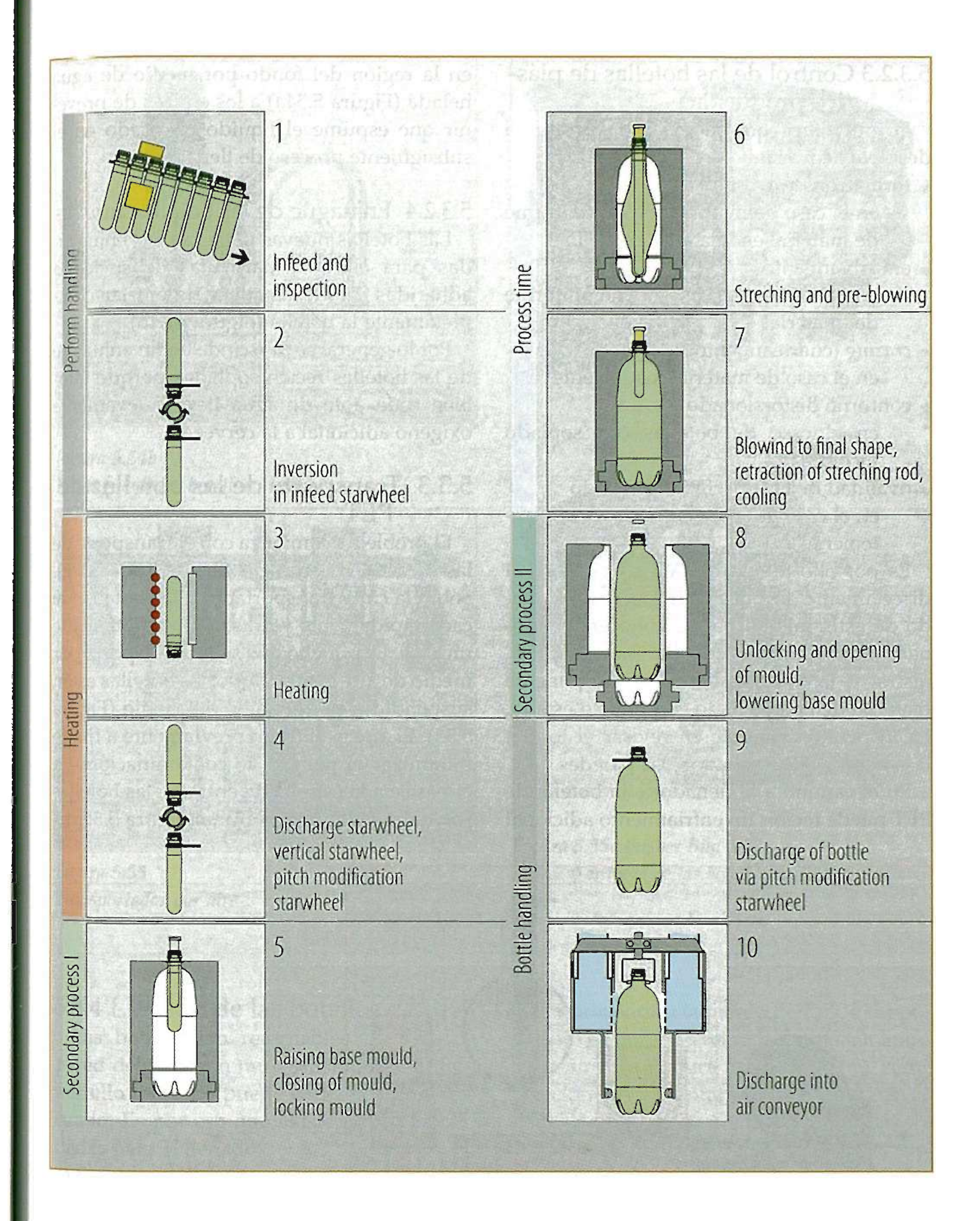


Figura 5.54
Secuencia de operación durante la producción de botellas de plástico (Krones)
Explicaciones en el texto

5.3.2.3 Control de las botellas de plástico producidas

Es muy fácil que la máquina produzca descarte. Hay así:

- formación de arrugas
  en el caso de distribución no uniforme de material en la zona del cuello
- enturbiamiento
  en el caso de enfriamiento no uniforme del material
- *crazing* (cuarteamiento)
  en el caso de material insuficiente
- contorno distorsionado
  en el caso de botellas con soplado incompleto
- ovalidad de la superficie de sellado
  en el caso de rosca enfriada insuficientemente

Es por ello necesario realizar un control directamente después del proceso de soplado de estiramiento para reconocer y eliminar inmediatamente irregularidades y suministrar a la estación llenadora únicamente material de embotellado en perfecto estado. La inspección consiste en revisar el fondo, las superficies de sellado y las paredes.

En el camino a la llenadora, la botella de PET puede recibir un enfriamiento adicional en la región del fondo por medio de agua helada (Figura 5.54a) a los efectos de prevenir que espume el líquido envasado en el subsiguiente proceso de llenado.

5.3.2.4 Enjuague de las botellas nuevas

Las botellas nuevas deberían ser enjuagadas para eliminar partículas de suciedad adheridas y para terminar de enfriar completamente la botella (Figura 5.54b).

Por lo general se prescinde de un enjuague de las botellas recién sopladas porque también cada gota de agua lleva nuevamente oxígeno adicional a la cerveza.

5.3.3 Transporte de las botellas de PET

El problema comienza con el transporte de las botellas livianas de PET (0,5 l < 30 g). Sobre la cinta transportadora, las botellas se caen rápidamente y causan inmediatamente un caos. Es por ello que se las transporta por medio de aire comprimido; las botellas están suspendidas por el anillo del cuello (Figura 5.55). El aire es filtrado previamente a fin de minimizar el peligro de contaminación. En el pasaje a la estrella de entrada, las botellas son entregadas una por una (Figura 5.55a).

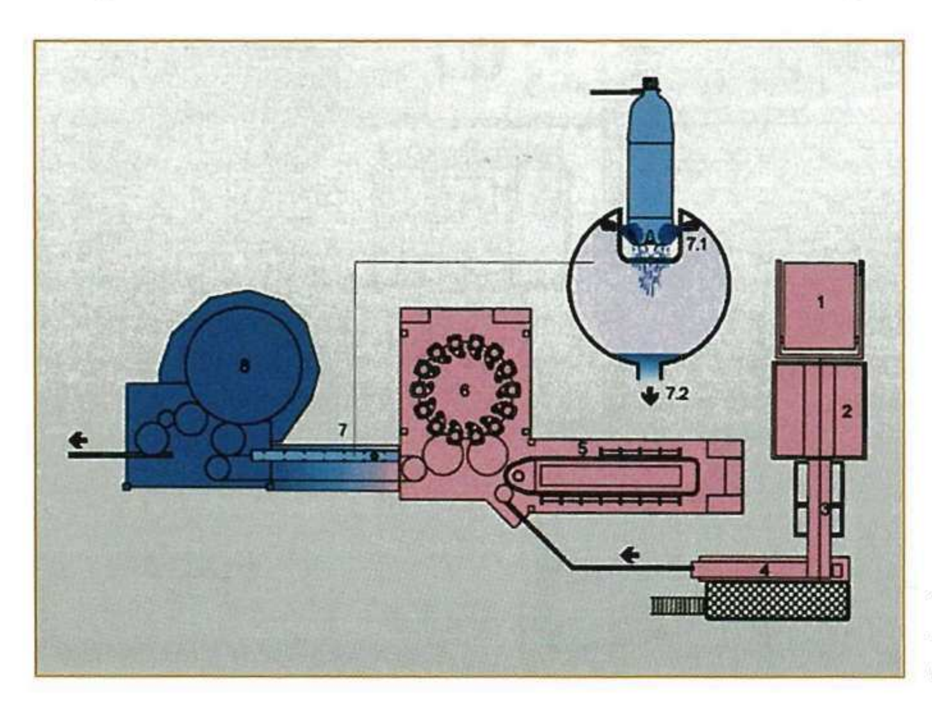


Figura 5.54a
Enfriamiento del fondo por medio de agua helada

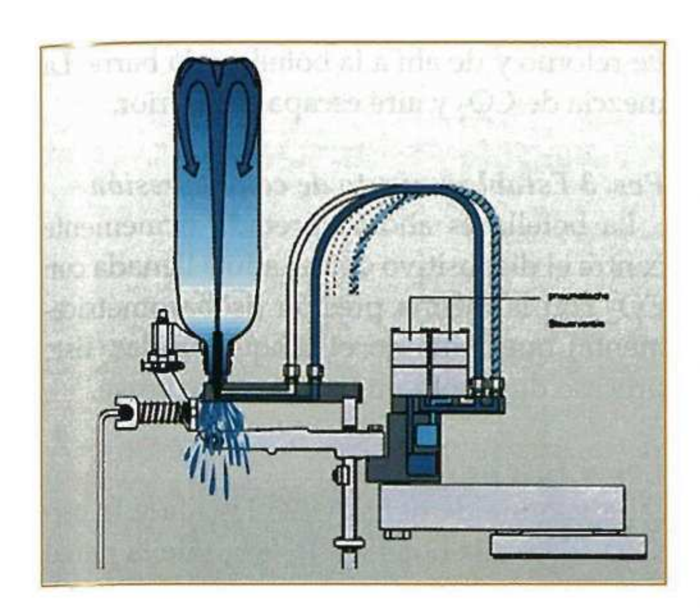


Figura 5.54b
Enjuague de las botellas nuevas

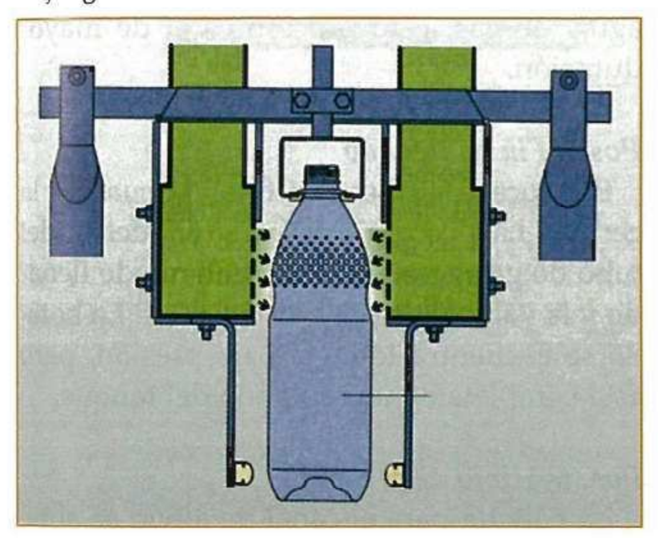


Figura 5.55
Transportador por aire

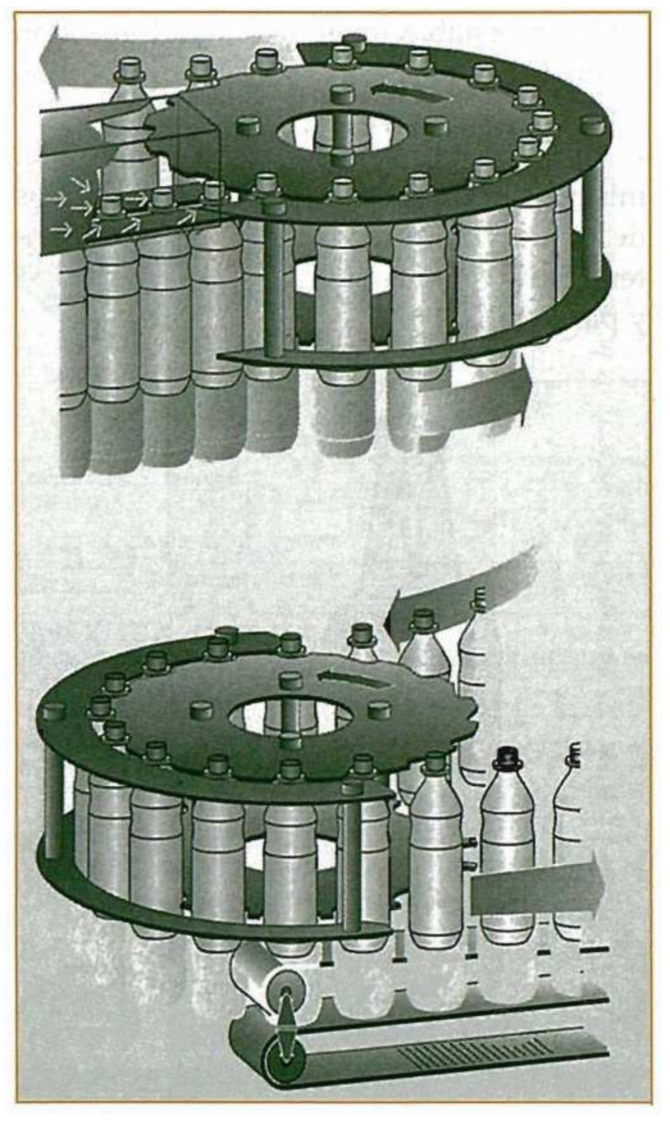


Figura 5.55a (bisher Bild 5.59)
Pasaje y entrega de las botellas de PET en la llenadora

5.3.4 Llenado de las botellas de PET

Las botellas no retornables de PET de pared delgada son muy sensibles al vacío y por ello no se les puede realizar un preevacuado. Es por eso que existen dos posibilidades para el llenado:

a) Se utilizan llenadores de tubo corto y se purga el aire contenido en la botella por soplado con CO_2; el aire escapa al exterior (ejemplo: VKP-PET). Dado que el CO_2 debe ser insuflado en la botella, el aire comprimido en la parte inferior de la botella no es purgado fuera de la misma inmediatamente (Figura 5.55b). Para su eliminación debe aceptarse por ello un consumo de CO_2 considerablemente mayor (aproximadamente 600 g/hl frente a aproximadamente 250 g/hl con preevacuado). La absorción de oxígeno es aproximadamente 0,08 mg/l en el caso de PET.

b) Se utilizan llenadores de tubo largo, a través de cuyo tubo de llenado largo es posi-

ble un establecimiento de contrapresión con CO_2 con baja absorción de oxígeno (0,02 mg/l) (ejemplo: Innofill DRF).

A los efectos de poder envasar en el mismo equipo también cerveza en botellas de vidrio, se ofrecen cada vez más frecuentemente llenadoras combinadas –para vidrio y plástico–.

5

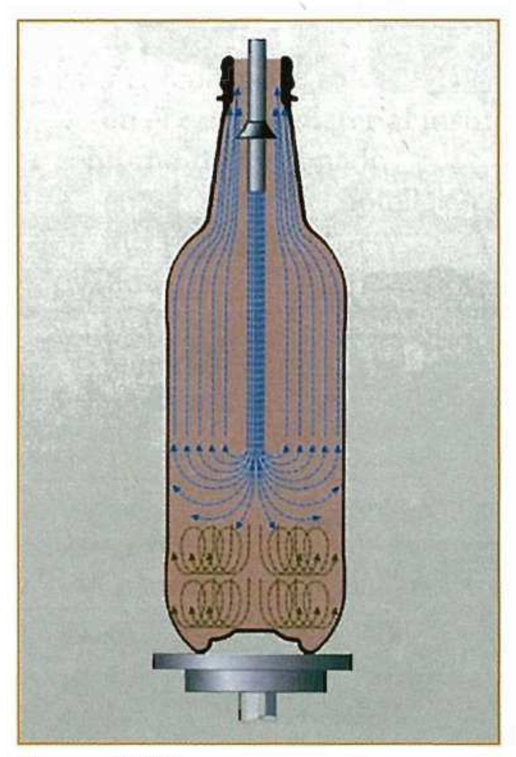


Figura 5.55b
Purgado de la botella de PET con CO_2

Sistema llenador con tubo corto (Figura 5.56) Mecafill VKP-PET (Krones, Neutraubling)

Pos. 1 Posición básica

Previamente a la elevación de la botella, todas las válvulas están cerradas; la botella se encuentra sujeta por el anillo del cuello.

Pos. 2 Barrido con CO_2

La botella es elevada casi hasta la válvula de llenado y se abre la válvula aguja de gas. El CO_2 fluye del tanque anular al tubo de gas de retorno y de ahí a la botella, y la barre. La mezcla de CO_2 y aire escapa al exterior.

Pos. 3 Establecimiento de contrapresión

La botella es ahora apretada firmemente contra el dispositivo de llenado y llenada con CO_2 con la misma presión (isobarométricamente) que reina en el tanque anular. Este proceso dura sólo un tiempo muy breve.

Pos. 4 Fase de llenado

La válvula de llenado es elevada y la cerveza fluye a la botella a lo largo de la pared de ésta y la llena progresivamente. El CO_2 retorna fluyendo al tanque a través del tubo de gas de retorno y pasando por la válvula aguja de gas. Este proceso es el de mayor duración.

Pos. 5 Fin de llenado

El proceso de llenado finaliza cuando la cerveza ha alcanzado el extremo inferior del tubo de gas de retorno. La válvula de llenado y la válvula de gas son cerradas. La botella se encuentra todavía bajo presión, pero está completamente separada del tanque.

Pos. 6 Alivio de presión

La válvula para el canal de alivio se abre. Pero la presión en la botella sólo puede disminuir lentamente, debido a un estrechamiento en el canal de alivio. Se previene de esta manera un espumado inapropiado de la cerveza. Ahora, la botella es bajada y taponada.

Pos. 7 Fase CIP

Durante la fase CIP se colocan dummies debajo de todas las válvulas como simuladores de botellas. Todas las válvulas son abiertas y se hacen recircular las soluciones CIP. Con esto está garantizado que todas las partes del equipo que entran en contacto con la cerveza puedan ser limpiadas y desinfectadas.

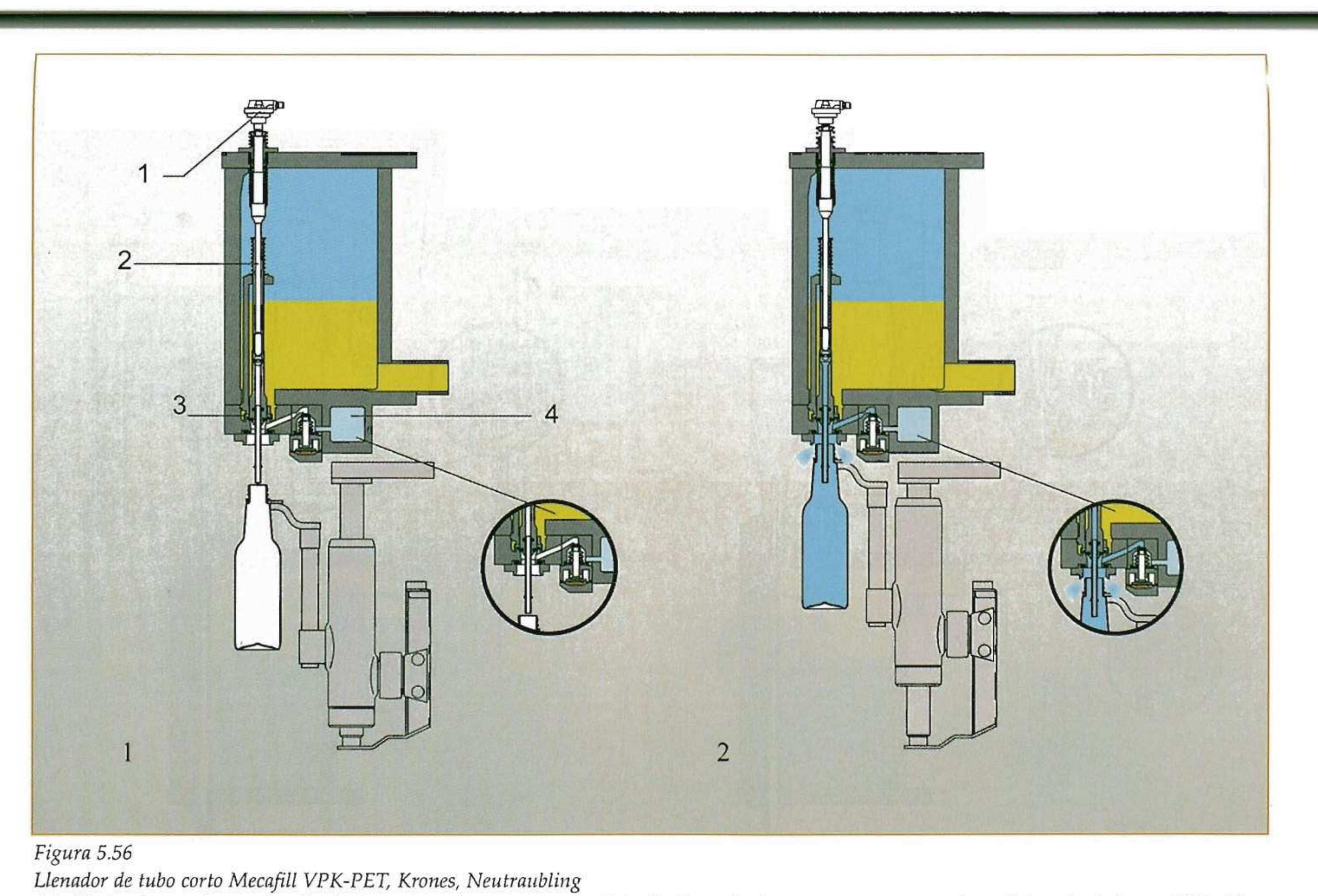
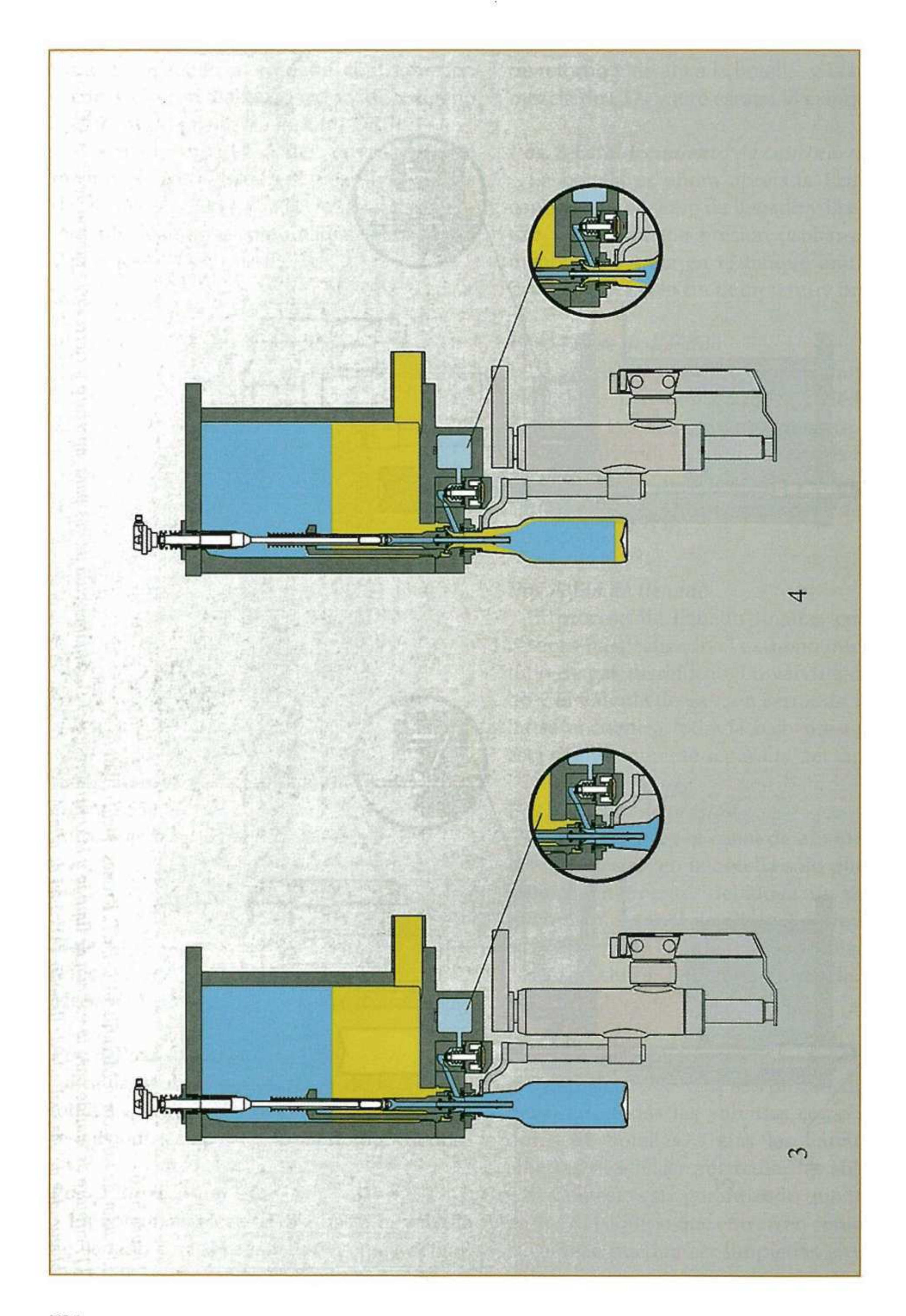
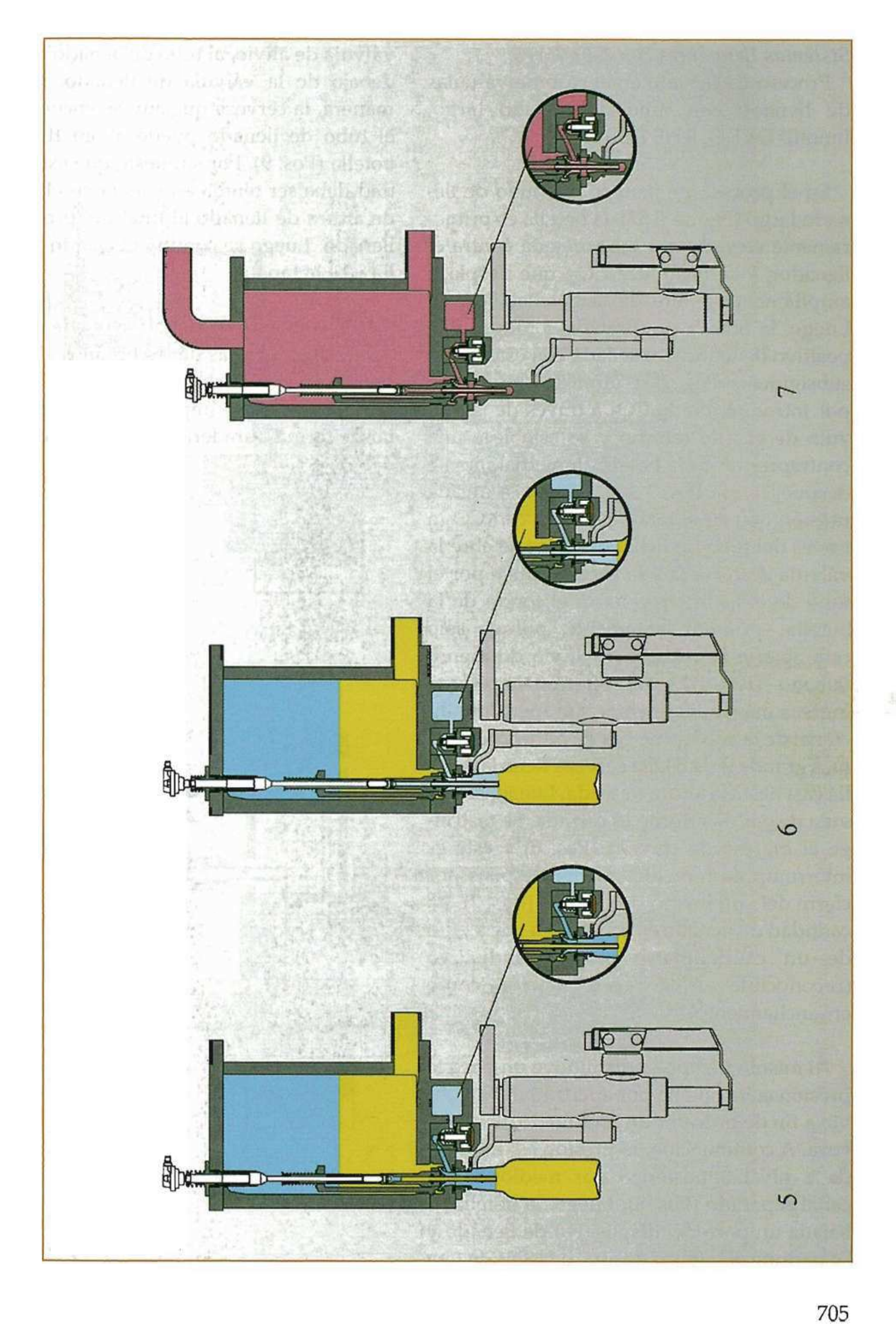


Figura 5.56
Llenador de tubo corto Mecafill VPK-PET, Krones, Neutraubling
(1) cilindro de mando para la válvula de líquido y la contrapresión, (2) válvula aguja de gas para apertura y cierre de la tubería de gas CO_2, (3) bloqueador de gas, válvula de llenado, (4) canal de alivio.


3
4


5
6
7



Sistemas llenadores con tubo largo

Proceso de llenado en el caso de válvulas de llenado con tubo de llenado largo, Innofill DVF-B, KHS Dortmund.

En el proceso de llenado con tubo de llenado largo (Figura 5.57), la botella es primeramente elevada, sin ser apretada contra el llenador, y se introduce CO_2, que desplaza ampliamente el aire de la botella (Pos. 1). Luego, la botella es apretada contra el dispositivo llenador y es sellada con esto. En la subsiguiente Pos. 2 se aumenta la presión por introducción de CO_2 a través de la válvula de gas de retorno y se establece una contrapresión en la botella. Inmediatamente después, en la Pos. 3 se establece la misma presión que en el tanque anular, con CO_2 a través del tubo de llenado. Luego se abre la válvula de cerveza y la cerveza fluye por el tubo de llenado largo hasta el fondo de la botella –primero lentamente, porque sólo está abierta la válvula de alivio de menor tamaño– (Pos. 4). A continuación, la cerveza ingresa más rápidamente, por apertura adicional de la válvula de gas de retorno, que es más grande (Pos. 5). La cerveza llena la botella casi hasta la altura deseada. Luego, la válvula de gas de retorno es cerrada. Se restringe el ingreso de cerveza (Pos. 6) y éste es interrumpido inmediatamente después por cierre del suministro de cerveza (Pos. 7). La cantidad de llenado es controlada por medio de un caudalímetro magneto-inductivo (reconocible en la representación como ensanchamiento).

Al mismo tiempo se disminuye un poco la presión en la botella por apertura del prealivio a fin de prevenir un espumado de la cerveza. A continuación, la presión es diminuida a nivel atmosférico por medio de un canal separado (Pos. 8). Luego, la botella es bajada un poco del dispositivo de llenado y se permite el ingreso de aire, a través de una válvula de alivio, al tubo de llenado ubicado debajo de la válvula de llenado. De esta manera, la cerveza que aún se encuentra en el tubo de llenado puede ahora fluir a la botella (Pos. 9). Por supuesto que esta cantidad debe ser tenida en cuenta en el cálculo de altura de llenado al final del proceso de llenado. Luego se continúa bajando la botella y se la tapona.

La Pos. 10 muestra cómo se puede someter a todas las tuberías de los órganos al proceso CIP colocando abajo dummies de botellas –un prerrequisito importante para posibilitar de forma duradera un envasado como es debido–.

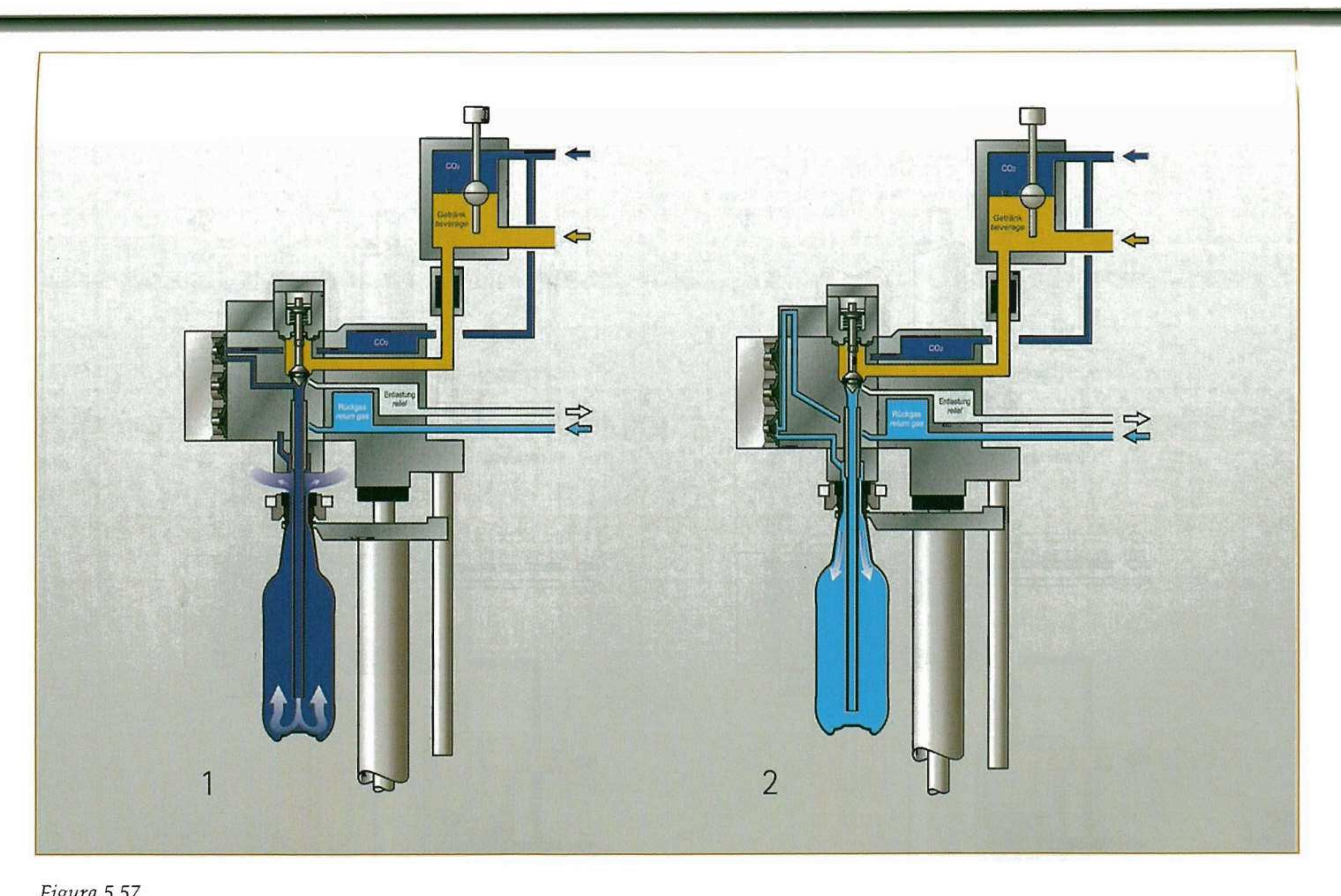
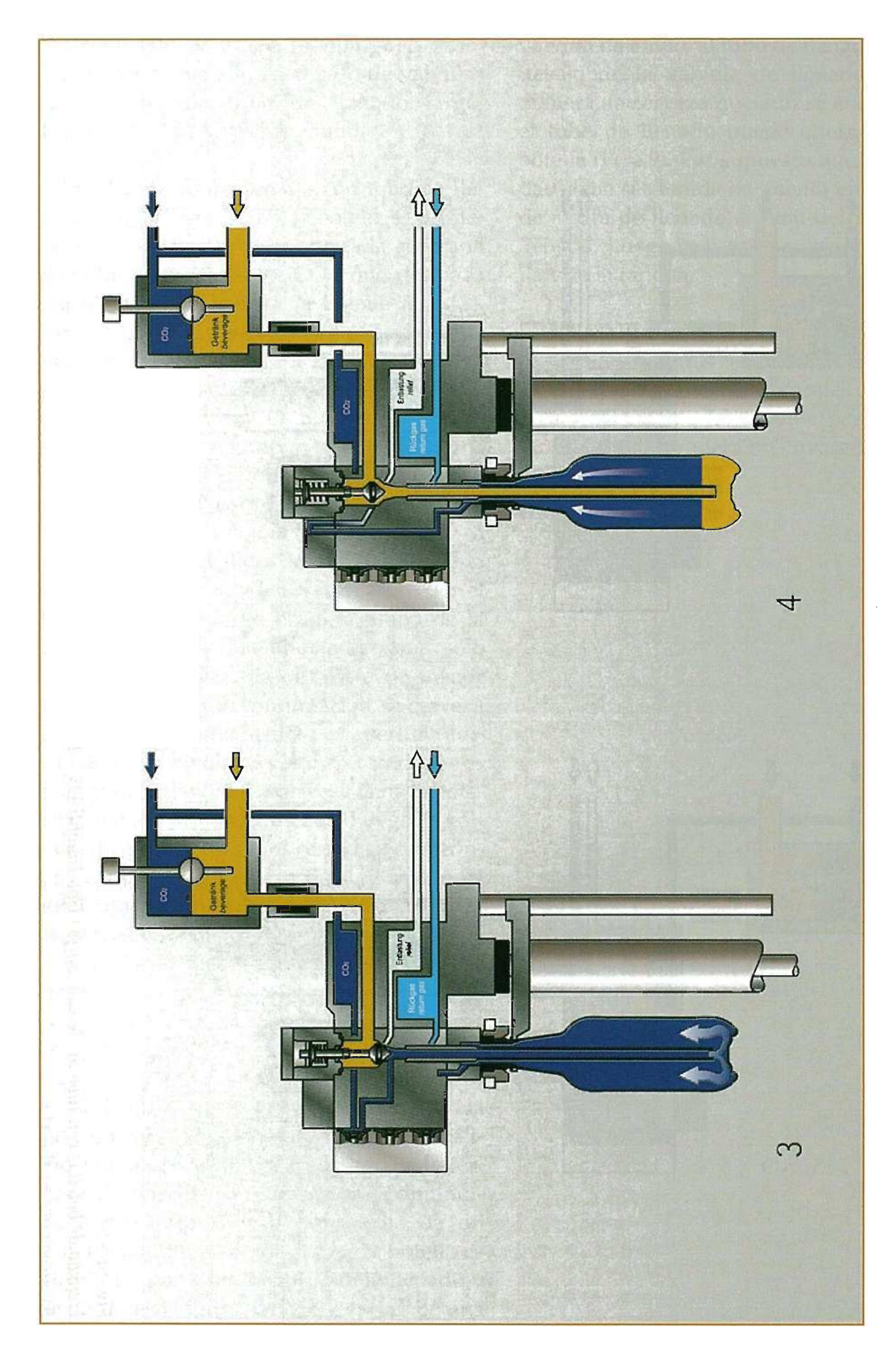
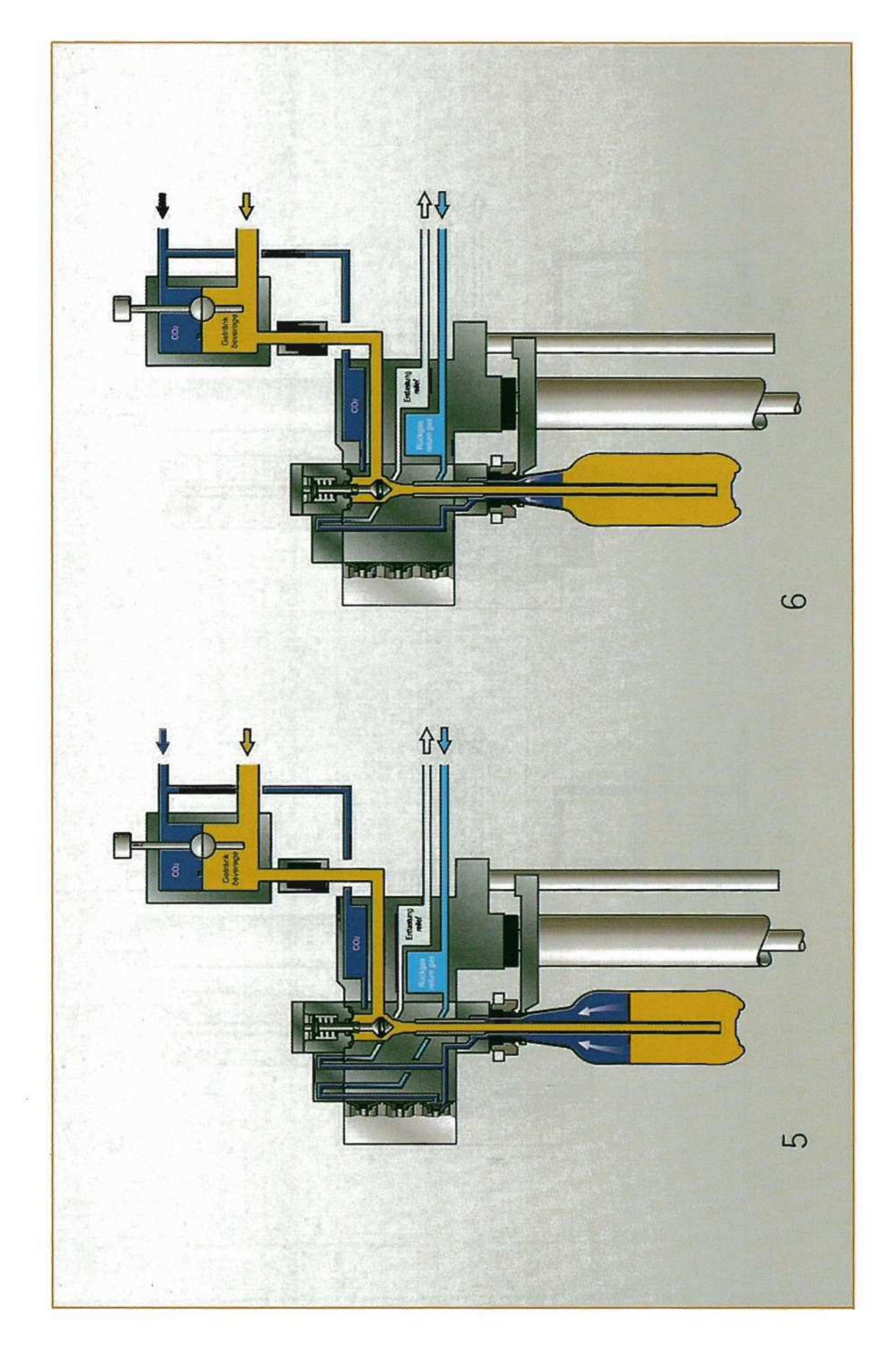


Figura 5.57
Llenado de botellas con tubo de llenado largo (Tipo Innofill DVF-B, Empresa KHS, Dortmund)
Explicaciones en el texto


CO2
Getränk beverage
CO2
Entlastung relief
Rückgas return gas
4
CO2
Getränk beverage
CO2
Entlastung relief
Rückgas return gas
3


6
5
CO2

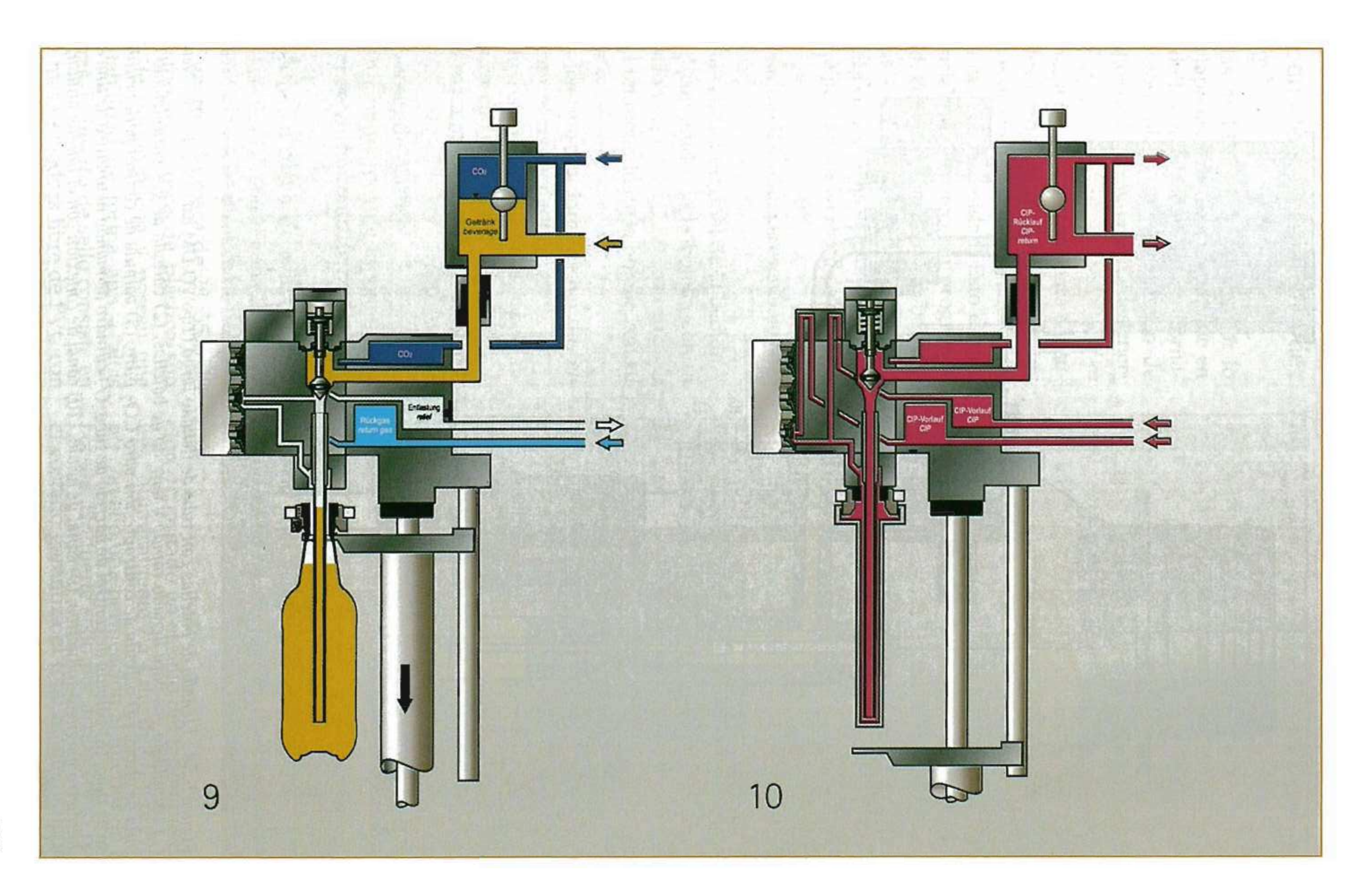

5

8

CO_2
Getränk beverage
CO_2
Entlastung relief
Rückgas return gas

7

CO_2
Getränk beverage
CO_2
Entlastung relief
Rückgas return gas


CO2
Getränk beverage
CO2
Entlastung relief
Rückgas return gas
9
CIP-Rücklauf CIP-return
CIP-Vorlauf CIP
CIP-Vorlauf CIP
10

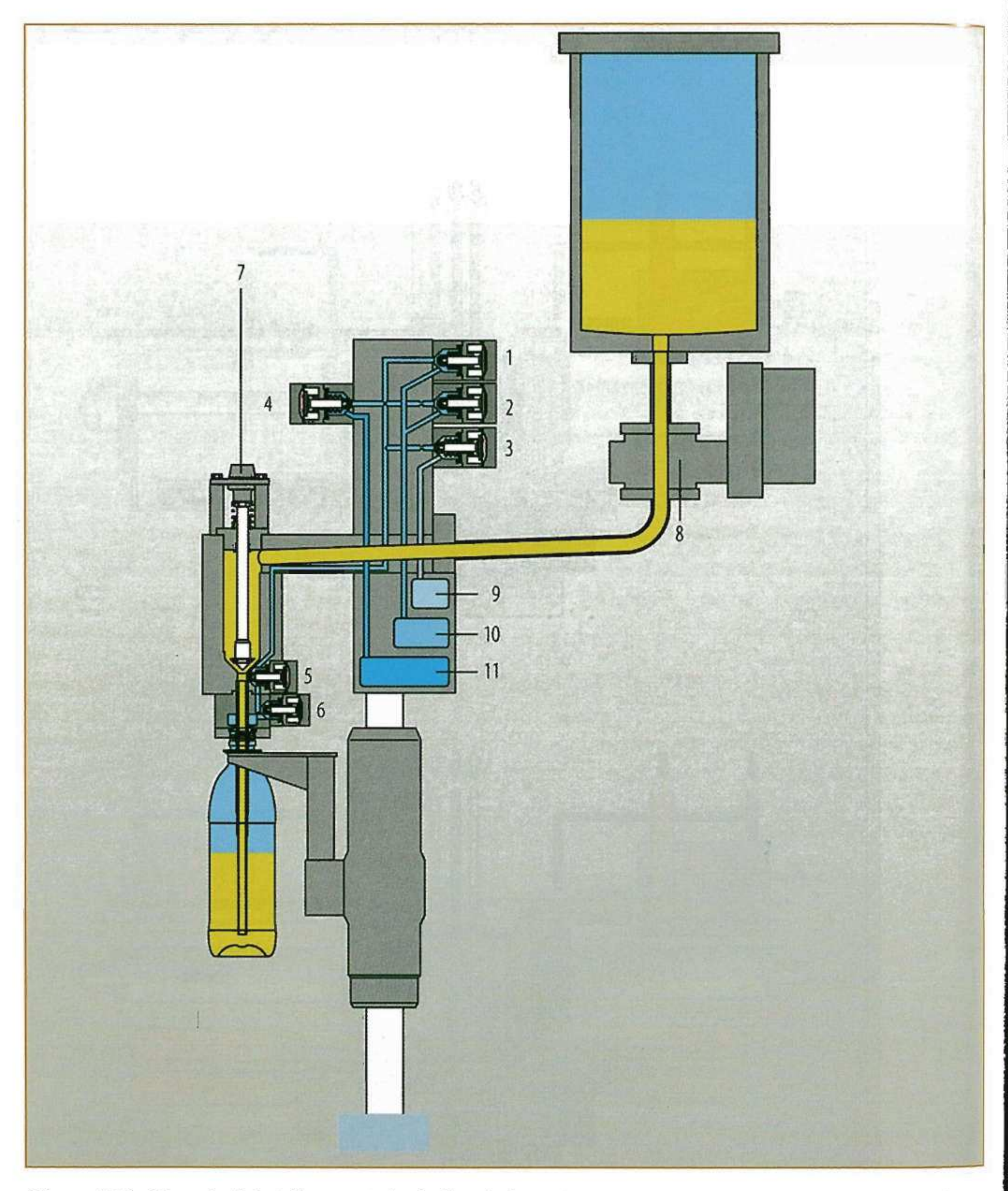


Figura 5.58 : Llenado de botellas con tubo de llenado largo (Tipo VO-DM para PET, Krones, Neutraubling)
(1) válvula de gas para llenado rápido y barrido de botellas, (2) válvula de gas para llenado lento, (3) válvula de alivio, (4) válvula de contrapresión para CO_2 puro, (5) válvula de control para ventilación y barrido de tubo, (6) válvula de control de barrido de tubo, (7) cilindro de mando neumático de una etapa, (8) caudalímetro magneto-inductivo, (9) canal de alivio, (10) canal de conexión con el tanque anular, (11) canal de CO_2 puro.

5.3.5 Taponado de las botellas de PET

Las botellas de PET son provistas por lo general con tapones a rosca –al igual que en la mayoría de las botellas de vidrio retornables y no retornables para el envasado de refrescos, jugos de fruta, aguas, bebidas energizantes, etc.–.

Los tapones a rosca son aptos para consumos parciales porque permiten ser abiertos sin elementos auxiliares y ser cerrados nuevamente en caso de necesidad. Esto es una ventaja esencial que favorece su progresiva popularidad. Por ello, el mercado de botellas para bebidas –con excepción de las botellas de vidrio para cerveza– ha sido conquistado ampliamente por tapones a rosca de diferente tipo.

De esto resultan las ventajas esenciales del tapón a rosca:

- preserva la calidad original de la bebida,
- asegura el contenido de la botella contra manipulaciones,
- permite el retaponado de la botella con su contenido y
- protege a los consumidores de heridas en la apertura y el retaponado.

Básicamente se diferencian dos tipos de tapones a rosca:

- tapones a rosca no prefileteados de aluminio y
- tapones a rosca de plástico.

Se utilizan ambos tipos de tapones tanto para botellas de vidrio como de PET.

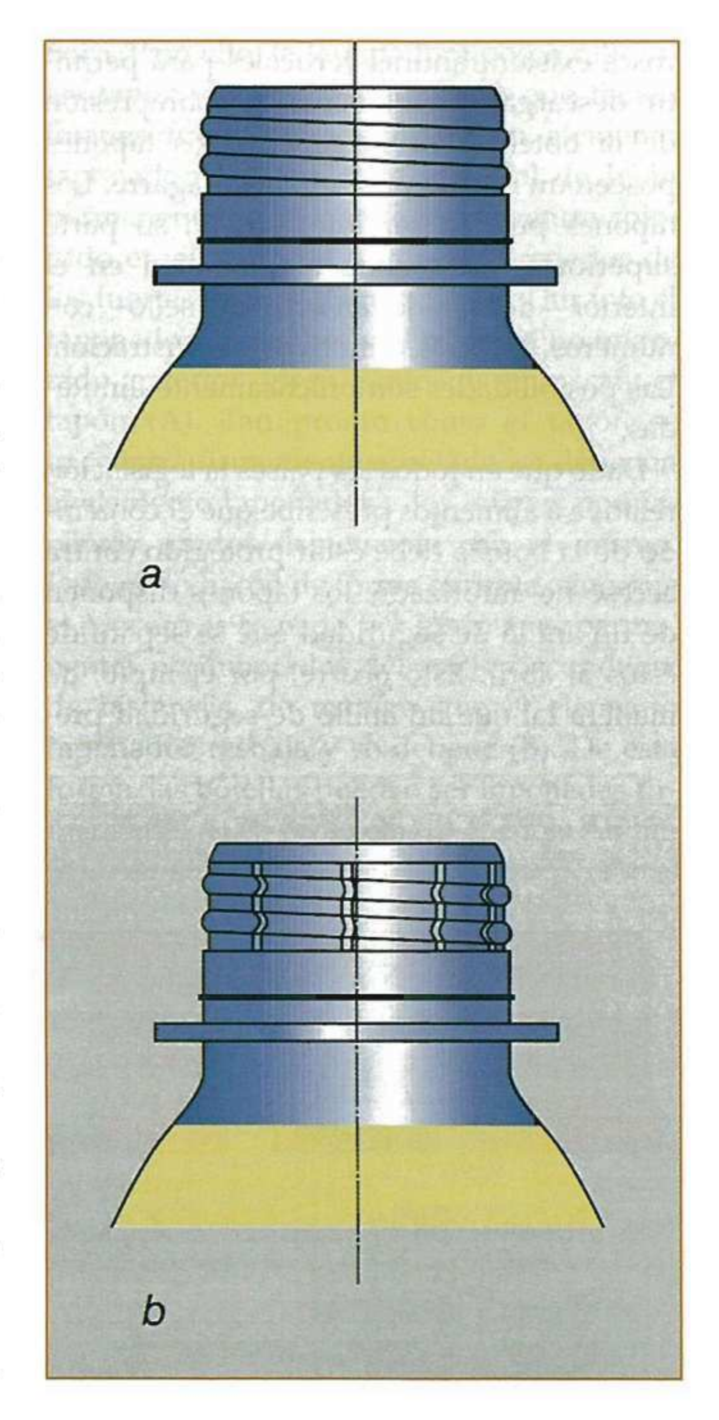


Figura 5.62
Rosca de tapón plástico
(a) un giro (b) ranuras para descarga de sobrepresión

5.3.5.1 Tapones a rosca de plástico

Las botellas de PET son taponadas generalmente con tapones de plástico de dos piezas, con diámetros de rosca de 28, 35 ó 38 mm. Los tapones a rosca de plástico son fabricados de polipropileno y poseen una elevada estabilidad de forma aun a altas temperaturas. El inserto de sello consiste en PVC o una masa selladora libre de PVC con un inserto de Scavanger. El agente de reducción depositado en el sello del tapón puede ligar químicamente 2 a 4 mg de O_2 y prevenir con ello una permeación al interior de la botella. Un fuerte sello por arriba como por el costado garantiza el total mantenimiento de la presión interior (Figura 5.64). En la

rosca existen ranuras verticales para permitir descargar rápidamente la sobrepresión de la botella. Por lo general, los tapones poseen un rayado para un mejor agarre. Los tapones pueden ser impresos en su parte superior y adicionalmente también en el interior –debajo del inserto de sello– con números, gráficos o motivos de ilustración. Las posibilidades son prácticamente ilimitadas.

Dado que en todos los países la legislación relativa a alimentos prescribe que el contenido de la botella debe estar protegido contra acceso no autorizado, los tapones disponen de un anillo de seguridad que se separa de éstos al abrir. Esto ocurre, por ejemplo, de manera tal que un anillo de seguridad preentallado, que ofrece resistencia a una rotación hacia la izquierda por medio de 26 ganchos, es separado del tapón al abrir. El anillo separado demuestra que la botella ya ha sido abierta previamente aunque se la haya vuelto a cerrar.

Proceso de taponado en el caso de tapones a rosca de plástico

Los tapones son suministrados por la clasificadora a la taponadora. La taponadora posee, según la exigencia, 10 a 25 cabezales taponadores, de los cuales cada uno puede ejecutar hasta 2500 cierres por hora.

Los cabezales taponadores tienen un par de cierre ajustable eléctricamente de forma continua, el que está adaptado a la capacidad de cierre. De esta manera se garantiza un par de cierre constante.

Para el taponado de botellas de plástico se recomienda intercalar previamente el proceso pick and place. En este proceso, los tapones roscados de plástico son suministrados a un carrusel intercalado previamente, a través de un plano inclinado. En este carrusel, los tapones son dispuestos de forma precisa con la boca hacia abajo y son colocados sobre las botellas. Por medio

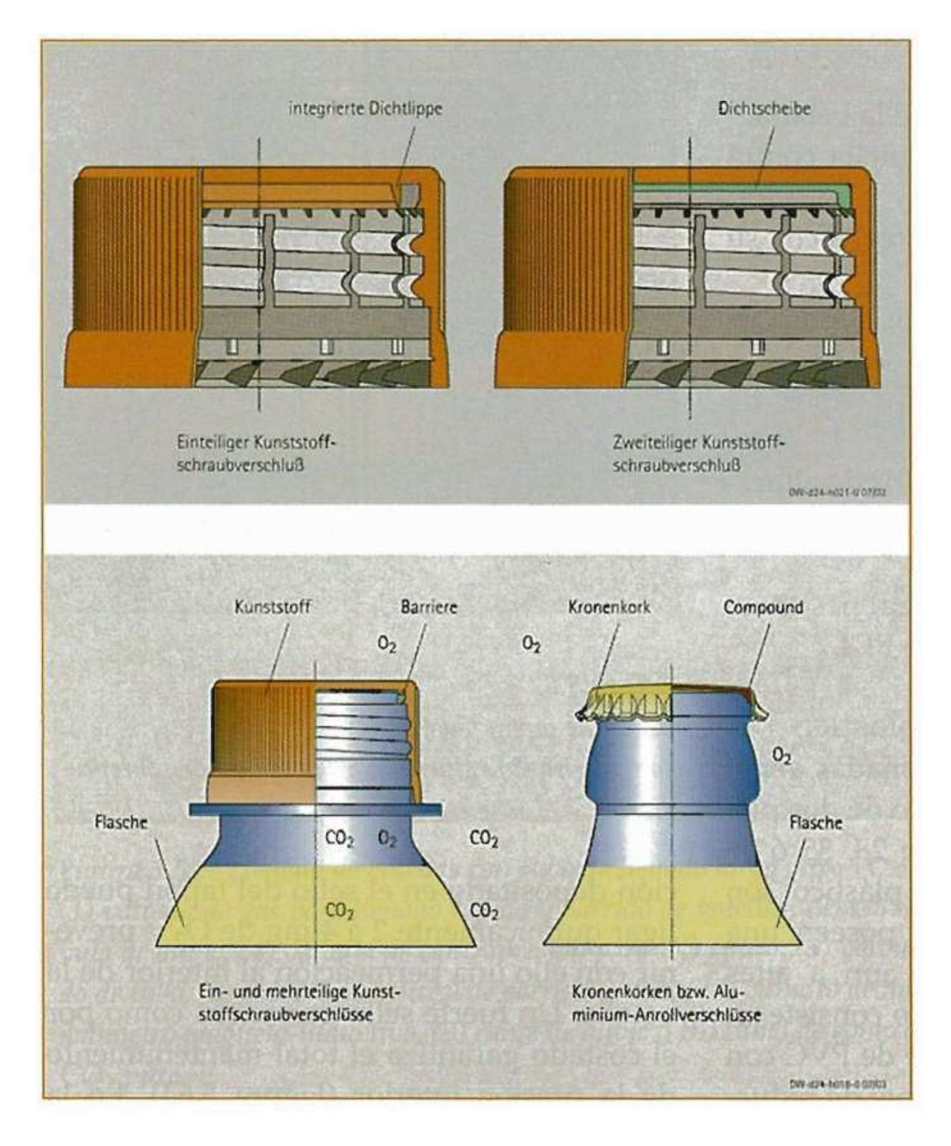


Figura 5.64
Tapón a rosca de plástico

de este proceso se previene el posible giro excesivo y el atascamiento de tapones, que sucede cuando no se utiliza este proceso.

En el envasado de la cerveza interesa que la espuma en ascenso suba hasta la boca de la botella y desplace así el aire que se encuentra en el cuello de esta última. Para ello existe la inyección de alta presión. La espuma puede entonces ascender más alto y depositarse en la rosca, lo cual puede causar la formación de mohos. Por ello existen procesos para, primero, taponar la botella sólo por medio de un simple cierre previo (Figura 5.64a) y limpiar la rosca por soplado o por rociado de enjuague antes de enroscar el tapón; debe controlarse al mismo tiempo si realmente ha sido colocado un cierre previo.

Existe un segundo proceso, en el cual el cierre previo se encuentra integrado en el tapón roscado. En esto, el tapón es colocado sobre la botella de manera tal que el disco de sello unido al tapón quede apoyado sobre ésta. Luego, la rosca es enjuagada por rociado y se enrosca el tapón.

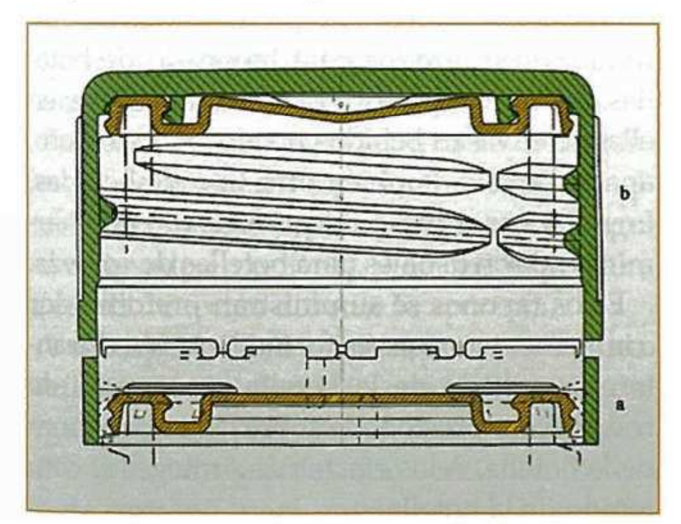


Figura 5.64a
Tapón a rosca de plástico con cierre previo (a) cierre previo colocado, (b) cierre total.

Técnica de cierre

Los tapones de plástico no pueden ser colocados como los tapones corona, sino que deben ser enroscados firmemente sobre la boca. Para ello, la taponadora posee cabezales taponadores (Figura 5.64b) que tienen imanes fuertes alrededor de su elemento taponador. Un anillo de material de imán permanente no imantado se encuentra colocado en el freno de histéresis alrededor de los fuertes imanes (Figura 5.64c). Durante el taponado, los imanes y el material no imantado exterior giran juntos y enroscan el tapón (A). Tan pronto como el tapón se encuentra firmemente apretado, se detienen el elemento taponador y los imanes permanentes unidos firmemente con el mismo. Pero no lo hacen de forma abrupta, sino que el proceso es frenado por los imanes permanentes no imantados del anillo circundante de histéresis, de manera que el elemento taponador resbala y se detiene (B). De esta forma, las botellas pueden ser taponadas firmemente. ¡Hay veces que se encuentran tan firmemente taponadas que a las personas ancianas les cuesta esfuerzo abrirlas!

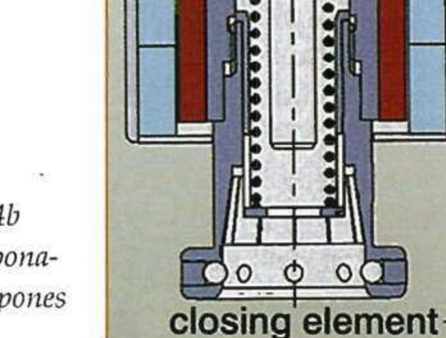


Figura 5.64b
Cabezal taponador para tapones de plástico

Técnica de desenroscado

En el desenroscado de las botellas que retornan (en el caso de botellas retornables)



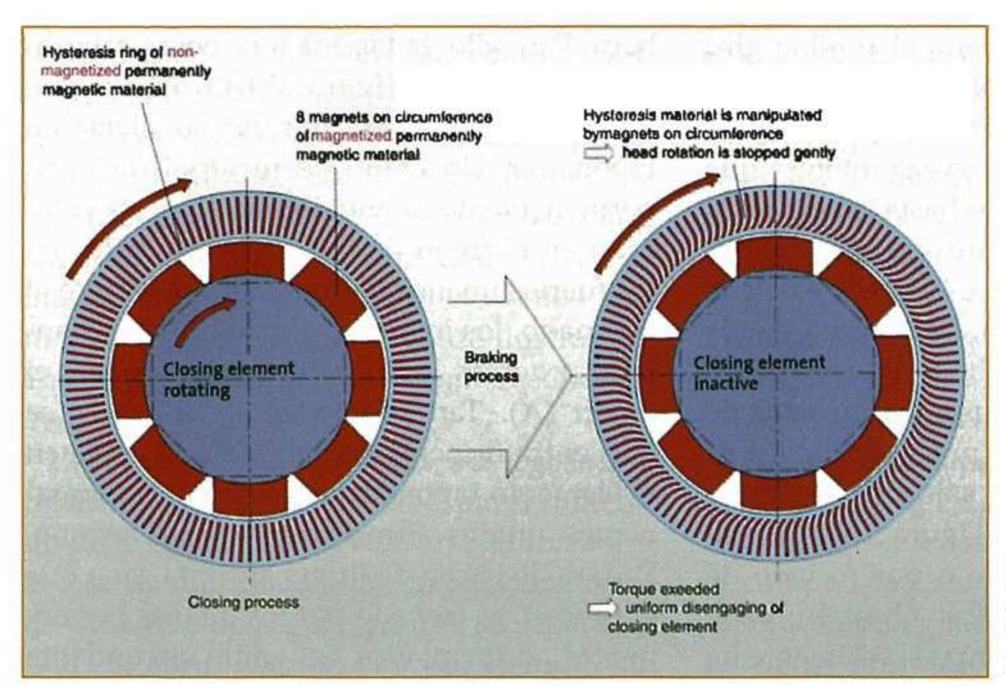


Figura 5.64c
Proceso de taponado en el caso de tapones de plástico

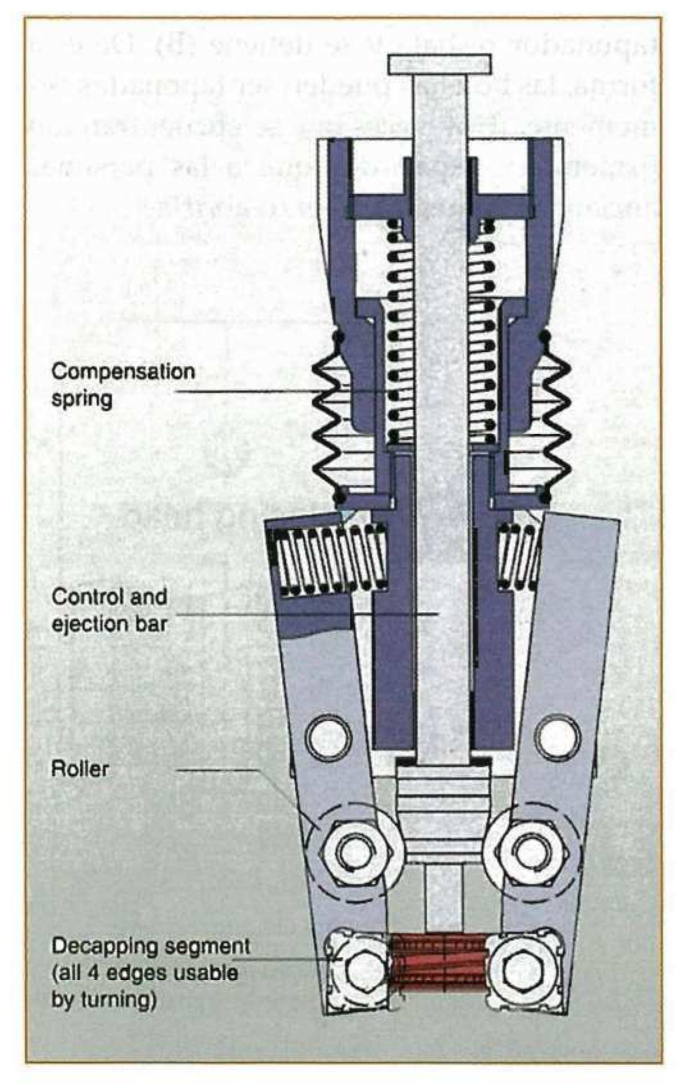


Figura 5.64d
Desenroscador

no es necesario un cuidado tal. En este caso es suficiente desenroscar los tapones de forma mecánica (Figura 5.64d).

5.3.5.2 Tapones a rosca no prefileteados de aluminio

Los tapones a rosca no prefileteados de aluminio son utilizados para taponado de botellas de vidrio o plástico con rosca de cierre; en ellas se envasan bebidas no alcohólicas, pero, aparte de ello, también otro tipo de bebidas. Los tapones a rosca no prefileteados de aluminio no son usuales para botellas de cerveza.

Estos tapones se suministran preformados e impresos; su rosca es formada recién durante el taponado de la botella, por medio de rodadura, y presionada sobre la rosca de boca de la botella. A los efectos de proteger el contenido de la botella:

- contra una pérdida de presión hacia afuera, se encuentra en el tapón un inserto de PVC o una masa de sello libre de PVC,
- contra una apertura no autorizada, se puede colocar en el extremo inferior del tapón un anillo de seguridad (Figura 5.63), el cual es roto o arrancado durante la apertura.

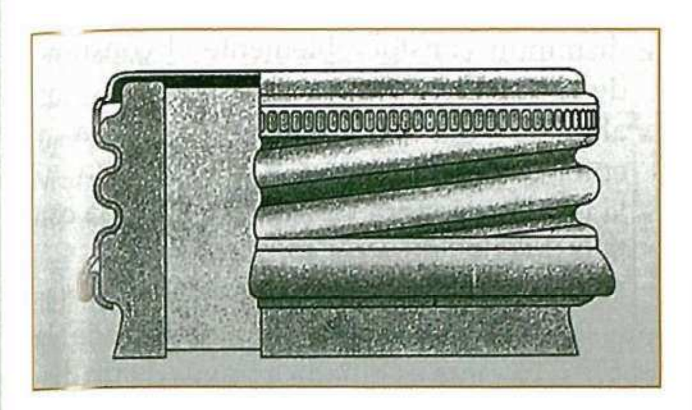


Figura 5.63
Tapón a rosca no prefileteado de aluminio

Si la botella es abierta por primera vez, el tapón se abre con un "click" claramente audible y demuestra con ello su integridad. Esta es la forma usual de taponado en botellas retornables; la parte correspondiente al seguro debe permanecer con el tapón para que no ocurran problemas cuando la botella es vuelta a limpiar y llenar.

En el caso de botellas no retornables, se pueden utilizar sin problemas tapones, en los cuales el anillo de seguridad se desprende completamente del resto del tapón y permanece en el cuello de la botella.

También existen tapones que se encargan de que la presión negativa formada por el enfriamiento de la bebida se mantenga, luego del envasado en caliente, y de que la presión se equilibre recién durante la apertura.

Una especialidad es el tapón a rosca no prefileteado de aluminio con anillo rojo de seguridad, de plástico, el cual también es utilizable para bebidas que contienen dióxido de carbono, para envasado en caliente y para pasteurización.

Proceso de taponado con tapones a rosca no prefileteados de aluminio

Los tapones a rosca no prefileteados de aluminio son colocados sin rosca. Se les realiza el conformado de la rosca durante el proceso de taponado por medio de dos o tres rodillos para labrar roscas, que forman la rosca y aseguran con ello un cierre seguro y hermético. Un rodillo adicional rebordea el anillo de seguridad eventualmente existente (Figura 5.63a).

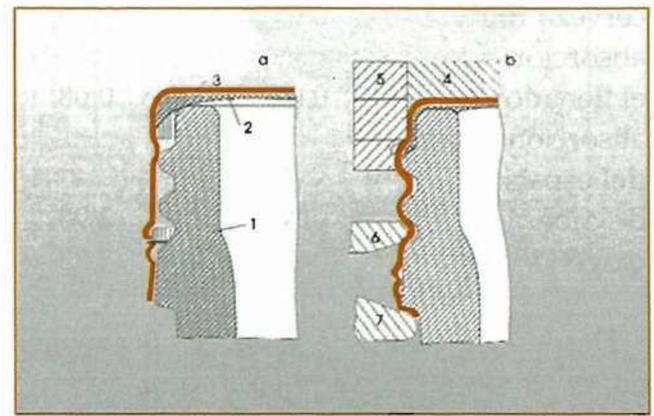


Figura 5.63a
Proceso de taponado con tapón a rosca no prefileteado de aluminio
(a) tapón colocado (b) proceso de taponado, (1) boca de botella con rosca, (2) inserto de sello (compuesto), (3) tapón a rosca no prefileteado, (4) eyector, (5) émbolo, (6) rodillo para labrar rosca, (7) rodillo rebordeador.

Absorción de oxígeno durante el llenado y taponado de botellas de PET

La absorción de oxígeno depende considerablemente de los procesos empleados. En el caso de llenadoras de tubo largo, la absorción de oxígeno es, con 0,02 - 0,03 mg de O_2/l, menor que en el caso de llenadoras de tubo corto, con 0,08 mg de O_2/l. En ambos sistemas, la porción de aire en el espacio de cabeza es 0,35 ml/l luego de la inyección de alta presión. El tapón a rosca introduce un considerable volumen de aire -aproximadamente 3,15 ml en el caso del tapón a rosca no prefileteado de aluminio, 5,25 ml en el del tapón a rosca de plástico [279]-. Desde este punto de vista no debería prescindirse del cierre previo en el caso del tapón a rosca de plástico. En estudios realizados con botellas de 0,5 l de vidrio con

tapón corona y de PET con tapón a rosca de plástico, la carga en mg de O_2/l era de:

	Botella de vidrio	Botella de PET
contenido en la cerveza filtrada	0,05	0,05
absorción durante el llenado	0,03	0,08
absorción encima del espacio de cabeza	0,15	2,90
oxígeno total	0,23	3,03

Desde este punto de vista, los Scavenger en el compuesto adquieren una enorme importancia para ligar químicamente esa gran cantidad de oxígeno.

5.3.6 Etiquetado de botellas de PET

Las botellas de PET son etiquetadas de la misma manera que las botellas de vidrio. Sin embargo, existe la tendencia de aplicar etiquetas envolventes sobre PET (Figura 5.65), las cuales pueden ser considerablemente más efectivas publicitariamente. Para el etiquetado se usan los más diversos tipos de películas, las cuales pueden ser desdevanadas de la bobina, y con las cuales se logra un consumo de adhesivo substancialmente menor por medio de un pegado inicial y final. En especial, son muy eficaces las etiquetas de película metálica.

El objetivo básico del etiquetado envolvente libre de adhesivo consiste en:

- utilizar toda la superficie cilíndrica de la botella para fines publicitarios,
- que la botella ya no entre en contacto con adhesivos.

De esta manera también es posible:

- quitar la etiqueta antes de la limpieza de botellas (en el caso de botellas retornables),

  reciclar con ello las etiquetas en estado seco y según tipo,
- disminuir considerablemente el consumo de adhesivo,
- ahorrar lejía limpiadora y energía, y entonces
- la lejía limpiadora ya no se contamina con la pulpa de etiquetas.

El etiquetado es realizado con las etiquetas preimpresas de forma continua desde la bobina. La cinta es guiada a través de un dispositivo alineador de etiquetas (webtracker), el cual se ocupa del alineado de la cinta en la altura prevista.

Un dispositivo cortador rotatorio separa las etiquetas de la bobina en el lugar en el que la célula fotoeléctrica reconoce la marcación de registro. De este modo siempre es posible una separación clara. La etiqueta cortada limpiamente es pasada ahora, por medio de un tambor de vacío, a la aplicación de adhesivo.

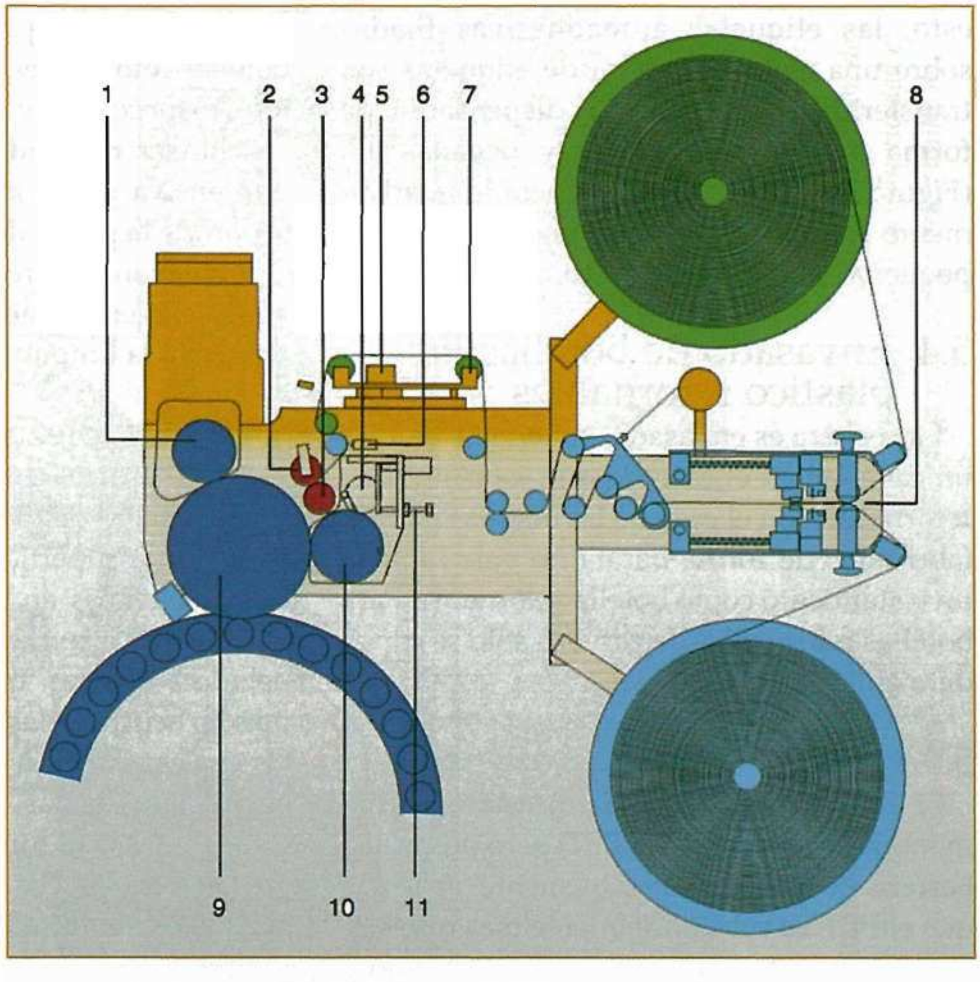
Este tambor de transferencia dependiente del formato dispone de un área saliente, que es análoga al borde posterior de la franja de solapadura, de aproximadamente 1 cm de ancho, de la etiqueta. Esta franja de solapadura es provista de una finísima película de hot-melt al pasar por delante del rodillo de aplicación de adhesivo. Por medio de un equipo de hot-melt y a través de pulverización por toberas, el rodillo aplicador de adhesivo es abastecido con adhesivo caliente, que seca más rápidamente y pega más fuertemente en comparación con adhesivos fríos.

El tambor de vacío continúa sosteniendo la etiqueta hasta que ésta es tomada y arrollada de forma sincrónica por la botella en rotación. Enseguida se une el borde anterior con el borde posterior de la franja de solapadura y se pegan en el término de segundos.

Con ello, la etiqueta envolvente está pegada consigo misma, pero no está adherida a la botella. Para un posicionamiento estable de la etiqueta,

- ésta es estirada un poco al ser aplicada sobre la botella y,

Figura 5.65
Etiquetado envolvente
Tipo Contiroll (Krones, Neutraubling)
(1) aparato aplicador de adhesivo caliente,
(2) rodillo presionador,
(3) rodillo de transporte,
(4) cuchilla estacionaria,
(5) motor paso a paso,
(6) sensor óptico para el control de marcaciones de paso,
(7) regulador optoelectrónico de conducción,
(8) dispositivo de unión automática por pegado para cambio de bobina,
(9) cilindro de agarre por vacío,
(10) cuchilla rotatoria,
(11) ajuste fino de la cuchilla estacionaria.



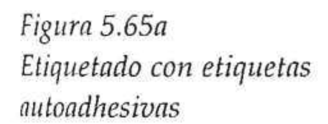
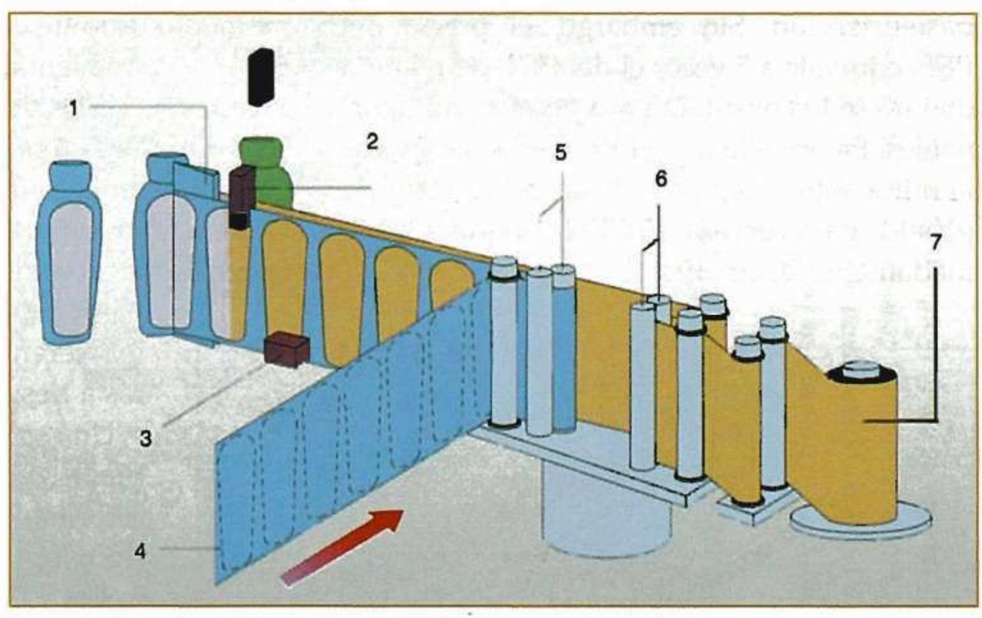


Figura 5.65a
Etiquetado con etiquetas autoadhesivas
(1) arista dispensadora,
(2) barreras de luz para arranque y parada,
(3) fechado por estampado en caliente,
(4) cinta portadora de etiquetas,
(5) rodillos de empuje,
(6) rodillos de tracción,
(7) enrollador de la cinta portadora de etiquetas vacía.



5

- antes de la aplicación de la etiqueta, se pulveriza sobre la botella una mezcla de aire y agua.

La etiqueta aplicada se contrae nuevamente y se encuentra firmemente fijada a la botella, apoyada por la delgada película de agua.

Dado que las botellas de PET son empleadas como no retornables, es también posible aplicar etiquetas autoadhesivas, aparte del etiquetado usual por adhesivo caliente. En

esto, las etiquetas autoadhesivas fijadas sobre una cinta portadora de etiquetas son transferidas en un aparato dispensador de forma precisa a la botella y pegadas allí (Figura 5.65a). Pero este etiquetado relativamente caro sólo vale la pena en variedades pequeñas de precio más alto.

5.4 Envasado de botellas de plástico retornables

La cerveza es envasada en botellas de PET únicamente en el caso de que éstas no sean retornables. En el caso de las botellas de PET fabricadas de forma barata no vale la pena un tratamiento como botella retornable. Para botellas retornables de cerveza sólo se considera el PEN.

5.4.1 PEN

El PEN (polietilennaftalato) está estrechamente relacionado con el PET; pero posee una barrera de gas considerablemente más alta que el PET, es substancialmente más resistente a la temperatura y puede ser sometido a pasteurización. Sin embargo, el precio del PEN equivale a 5 veces el del PET, de manera que no se lo considera para botellas no retornables. Es por ello que el PEN es actualmente la única solución para botellas retornables de plástico para cerveza. El PEN soporta aproximadamente 20 circuitos.

Sin embargo, el precio para la solución con botellas retornables es alto:

- la inspección de las botellas retornables debe ser realizada de forma mucho más intensiva que con las botellas de vidrio, porque la pared de plástico absorbe y libera substancias aromáticas, y
- hay exigencias adicionales en lo que respecta a la limpieza de botellas.

5.4.2 Limpieza de botellas retornables de plástico

Las botellas de plástico son muy livianas y flotan en la superficie. Si no se toman medidas adicionales en la máquina lavadora de botellas, se produce muy pronto un caos debido a botellas que flotan alrededor. Esto no sólo ocurre en las estaciones de rociado, en las cuales el chorro de rociado dispara hacia afuera las botellas livianas como si fueran cohetes, si no se toman medidas protectoras por medio de chapas de sujeción (Figura 5.66). Debe tenerse también en cuenta que la temperatura no exceda 60°C en ningún momento durante el lavado, porque el material se ablanda lentamente y se deforma. Una excepción son las botellas de HC-PET o PEN insensibles a la temperatura, que pueden ser tratadas a temperaturas de 75 - 80°C. El PEN soporta temperaturas por encima de 80°C, de manera que no existen riesgos tan grandes para la limpieza, en particular en lo referente a los stress cracks, sujetos a riesgo biológico.

Una solución especial de la limpieza de botellas para botellas retornables de plástico es la del tipo "Spiragrip" (Krones) (Figura 5.67). Vale la pena seguir el desarrollo del movimiento de botellas en esta máquina poco común.

Figura 5.67
Máquina lavadora de botellas para botellas de plástico tipo "Spiragrip"

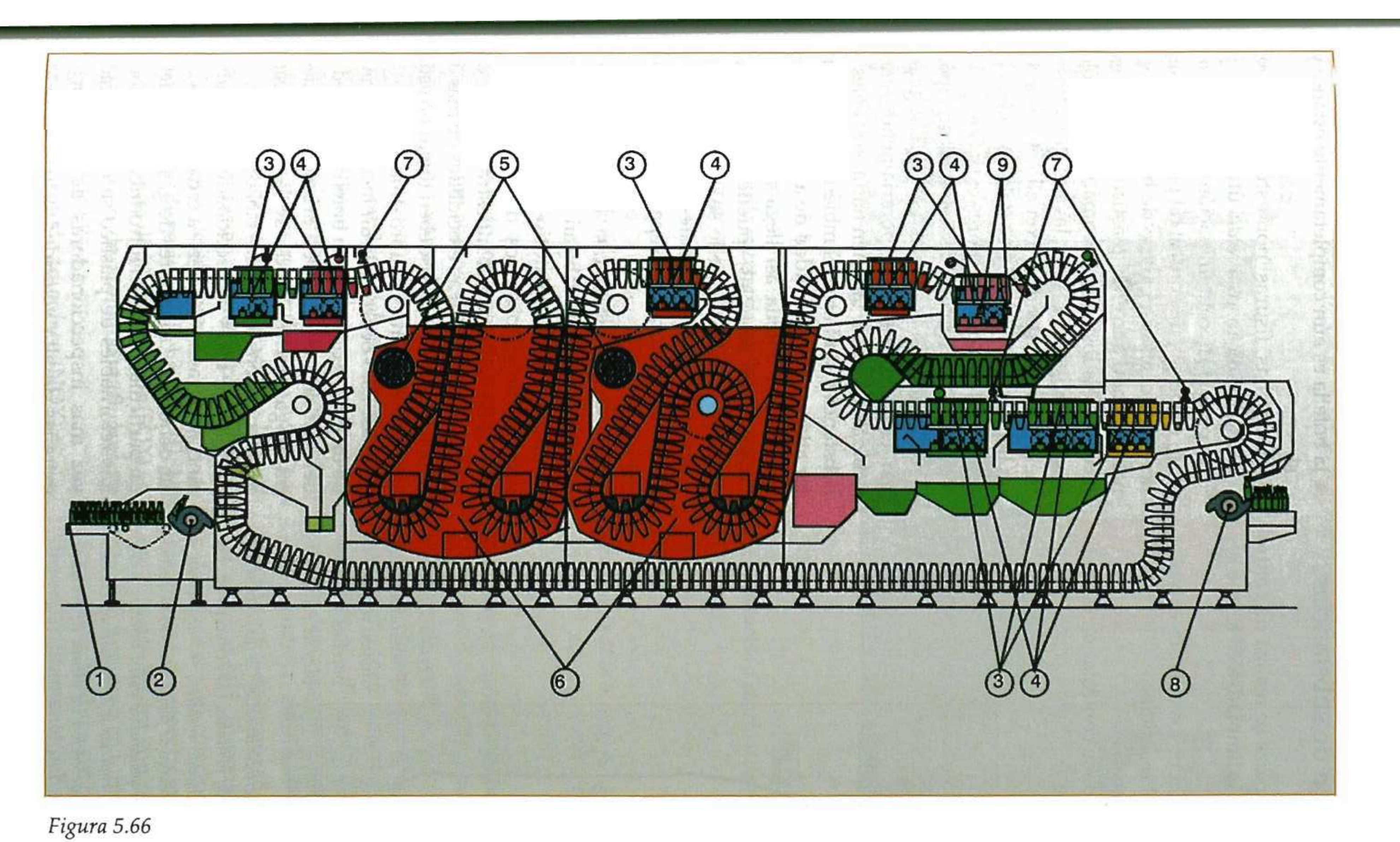


Figura 5.66

Equipamiento adicional para la limpieza de botellas de PET

(1) chapa movible con carga por arriba, para la carga de botellas, (2) dispositivo especial de carga para PET, (3) chapas sujetadoras, (4) fijación de PET con enjuague de anillo del cuello y de rosca, (5) regulación electroneumática de temperatura con monitoreo, (6) medición de conductividad en cada baño de lejía, (7) soplado de fondo (fondos petaloides), (8) dispositivo especial de descarga, (9) rociado de alta presión para rosca y anillo del cuello.

5.4.3 Inspección de substancias extrañas

Luego de la limpieza se realiza un control usual de las botellas limpiadas en lo que respecta a:

- eliminación de todos los cuerpos extraños,
- vaciado total del recipiente e
- integridad de la rosca.

Aparte de ello se debe controlar en las botellas de plástico si

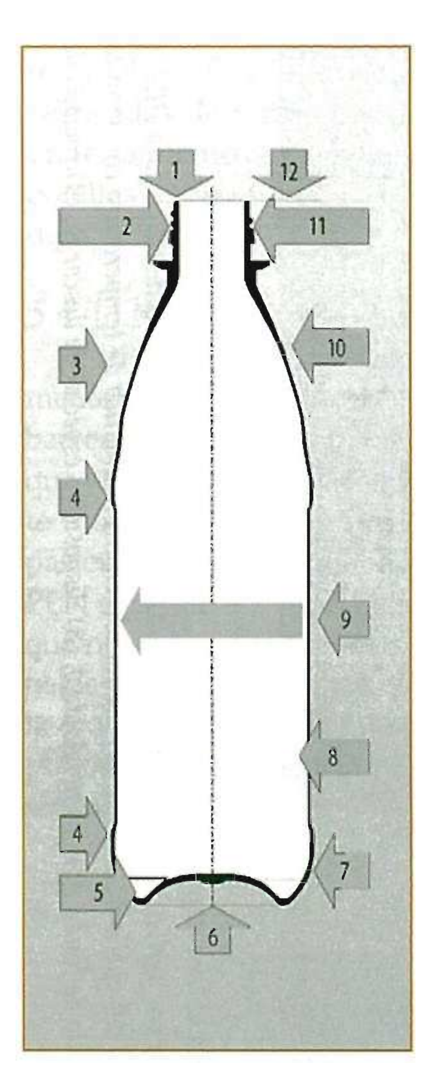


Figura 5.67a Posibilidades de inspección en botellas retornables de plástico

(1) inspección de la superficie de sello, (2) inspección lateral de boca, (3) ensayo de pérdidas, (4) detección de abrasión, (5) detección de líquido residual, (6) inspección de fondo, (7) detección de código de fabricante, (8) inspección de pared interior, (9) inspección de pared interior y exterior, (10) detección de forma, color de recipiente, (11) inspección de rosca, (12) detección de altura de recipiente (encogimiento).

- la botella es aún completamente estanca y si
- ya muchas fisuras por esfuerzo (stress cracks) indican una vida útil reducida y un peligro de contaminación en aumento.

Sin embargo, un control tal por sí solo aún no es suficiente en el caso de botellas retornables. Dado que en el plástico se disuelven fácilmente substancias aromáticas que sólo pueden ser extraídas por lavado dificultosamente y pueden afectar con ello el sabor de un llenado subsiguiente, se debe examinar el contenido respecto de olores extraños.

A ello se agrega que las botellas con tapón a rosca inducen a algunas personas a guardar en las botellas temporariamente otras bebidas, así como también nafta, solventes o substancias similares. También se debe contar además con la maldad de algunas personas. Si una botella así llega a la máquina lavadora de botellas, puede contaminar miles de botellas. Por ello se intercalan inspeccionadoras (caras) antes de llegar a la máquina lavadora para separar tales botellas del resto.

Las inspeccionadoras de substancias extrañas (sniffer) trabajan por lo general como dispositivos rotatorios, pero también a veces como dispositivos de pasaje. A los efectos de poder tomar muestras de olor de las botellas también a velocidades de más de 50 000 botellas/hora, se deben tomar en cada segundo muestras de aproximadamente 15 botellas. Esto ocurre por un insuflado breve de un chorro de aire en la botella, por medio del cual se presiona hacia afuera una muestra de gas del contenido de la botella para ser inspeccionada (Figura 5.67b).

Dado que estas inspeccionadoras de substancias extrañas "huelen" a estas últimas, se las denomina "detectores de gases" (sniffer). En particular, desde la introducción de botellas retornables de plástico se utilizan cada vez más inspeccionadoras de substancias extrañas de alta velocidad a los efectos de

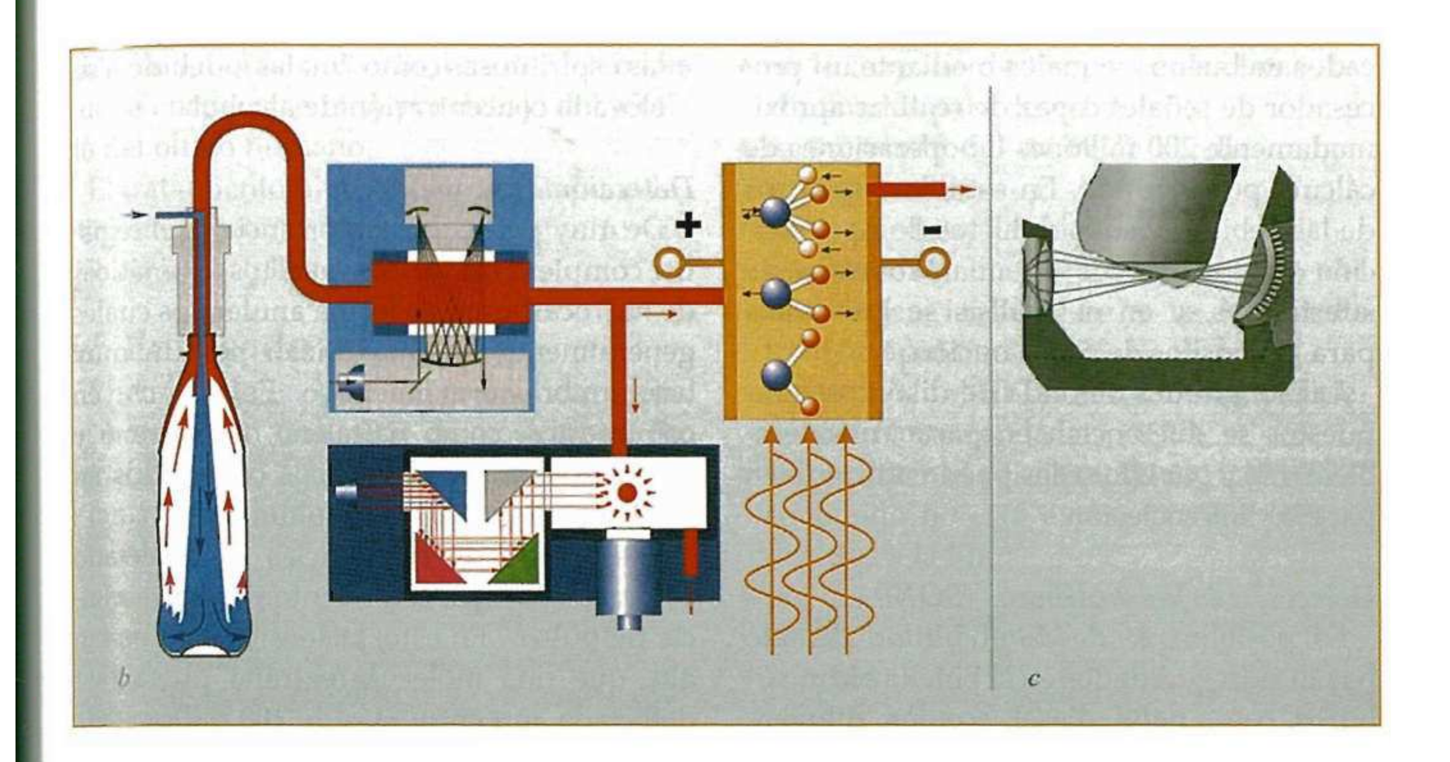


Figura 5.67b
Análisis de gases
El aire de la botella es extraído por barrido con aire fresco introducido a chorro y de esta manera puede ser analizado. Descripción en el texto.

Figura 5.67c
Análsis de líquidos
Un resto de líquido en la botella inclinada es irradiado en el fondo de la botella y se lo analiza.

mantener en todo los aspectos la calidad de las bebidas envasadas y para evitar o minimizar reclamaciones de los clientes.

Dado que, aparte de las substancias extrañas volátiles, también deben ser detectadas substancias poco volátiles, que se encuentran preponderantemente en líquidos residuales de botellas retornables, se examinan tanto la fase gaseosa como también los residuos de bebidas en la botella por medio de cuatro sistemas de sensores:

- un análisis de residuos de bebidas (USM),
- una detección de hidrocarburos (SOX),
- una detección de aromáticos (fluorescencia de pulsos) y
- una detección de amoníaco (NOX).

Análisis de residuos de bebidas (USM)

Un haz de luz con porciones de espectro en los rangos ultravioleta, visible e infrarrojo irradia los residuos de bebida en la botella levemente inclinada (Figura 5.67c). Para la medición se adiciona a la botella, inmediatamente después del desenroscado de ésta, una pequeña cantidad de soda cáustica diluida a fin de alcanzar un nivel mínimo y para liberar NH_3 presente.

A través de un colector de luz, el haz de luz alcanza un espectrómetro optoelectrónico, el cual registra con 512 sensores la atenuación luminosa en forma de "huellas digitales". Los residuos de bebida son analizados específicamente por substancia y clasifi-

cados en buenos o malos mediante un procesador de señales capaz de realizar aproximadamente 200 millones de operaciones de cálculo por segundo. En esto, los espectros de las bebidas y sus productos de fermentación son guardados en una biblioteca de substancias, y en el análisis se los utiliza para propósitos de comparación.

Las longitudes de onda de distintos compuestos se diferencian en parte considerablemente y por ello se las puede utilizar bien para la diferenciación.

Detección de hidrocarburos (SOX)

Es posible que desde el último llenado hayan sido guardados en la botella hidrocarburos, como nafta, diesel, acetona, diluyentes de pinturas, benceno, etc. Ya las menores trazas de estas substancias deterioran la bebida y por ello la botella es inservible para un uso ulterior. La botella debe ser detectada y separada del resto.

En la detección de estos compuestos de hidrocarburos se aprovecha que en el rango del espectro infrarrojo causan atenuaciones de luminosidad dependientes de la longitud de onda. Junto con la detección de substancia, estas atenuaciones de luminosidad permiten una determinación de la concentración de la substancia (Figura 5.57).

De esta manera es posible detectar compuestos que aparecen normalmente en bebidas –y con ello en botellas retornadas–; por ejemplo:

- substancias de sabor, como limones, o
- productos de fermentación, como etanol o acetato etílico

y diferenciarlos de hidrocarburos indeseados.

En el caso de etanol (alcohol), debe hacerse todavía una determinación de concentración, dado que se deben clasificar, por ejemplo:

- los refrescos fermentados como "buenos", debido a sus bajas concentraciones alcohólicas,
- las espirituosas como "malas", debido a su elevada concentración de alcohol.

Detección de aromáticos

De muy particular importancia es el registro completo de los compuestos aromáticos de hidrocarburos de forma anular, los cuales generalmente se caracterizan por un muy bajo umbral organoléptico. Éstos incluyen compuestos, como naftaleno, fenantreno y otros aromáticos policíclicos contenidos en muchas substancias de uso diario.

Este grupo de substancias es detectado por medio del procedimiento de fluorescencia de pulsos. En esto, la sensibilidad es tan alta que una molécula extraña puede ser detectada aun entre más de 100 millones de moléculas de aire.

En este procedimiento, la molécula de substancia extraña es estimulada a iluminarse por medio de un impulso luminoso ultravioleta y el impulso luminoso emitido es registrado por un sensor altamente sensible. Ello conduce al rechazo de la botella antes de la limpieza de botellas.

Detección de amoníaco (NOX)

Un grupo importante lo constituyen las substancias que contienen amoníaco, las cuales se encuentran, por ejemplo, en agentes limpiadores, removedores de pintura, productos de lavado, productos químicos de uso diario, pero también en los tejidos necróticos de insectos en descomposición.

La detección de substancias que contienen amoníaco ocurre por la atenuación de irradiación por microondas de alta frecuencia (Figura 5.67 derecha). Para ello se adiciona a la botella a examinar una pequeña cantidad de soda cáustica y se libera con ello NH_3. Se emiten aparte microondas en una frecuencia ajustada especialmente a la molécula de amoníaco en el rango entre 20 y 25 GHz.

A través de un método refinado de selectividad es posible la selección altamente sen-

sible de amoníaco con límites de detección que se encuentran muy por debajo del sentido del olfato humano.

El tratamiento ulterior (llenado, taponado, etiquetado, etc.) ocurre de la misma forma que en las botellas no retornables.

5.5 Envasado en latas

El envasado en latas difiere del envasado en botellas en una serie de posiciones. En particular, esto atañe a:

- latas y cierres de latas, material y particularidades,
- almacenamiento, despaletizado y desplazamiento de las latas,
- enjuague de las latas,
- inspección de las latas vacías,
- llenado de las latas,
- cierre de las latas,
- widgets (cápsulas de gas) y sus particularidades,
- inspección de las latas llenadas,
- pasteurización,
- etiquetado y
- fechado de las latas.

5.5.1 Latas y cierres de latas

El envasado en latas se ha difundido en años recientes para muchos tipos de bebidas. En especial para cerveza, refrescos y bebidas energizantes, ice tea (té helado), etc. Se emplean latas en el rango de tamaños de aproximadamente 250 ml hasta 500 ml y más esporádicamente hasta contenidos de 1 l. El contenido se indica en ml y/o en onzas (fl. oz); se debe tener en cuenta que se debe diferenciar entre onzas (USA) y onzas (RU = imperiales) (ver información sobre volúmenes al final del libro). El aumento de popularidad de la lata se basa, sobre todo, en las siguientes ventajas:

- las latas son irrompibles,
- con unos pocos gramos de masa son incomparablemente más livianas que botellas de vidrio de igual volumen,
- en la mayoría de los países, las latas son eliminadas para desecho,
- se prescinde del cajón de botellas, engorroso y pesado,
- se las puede apilar bien,
- permiten un buen aprovechamiento del espacio en la heladera y se las puede enfriar rápidamente,
- se las puede abrir sin herramienta, y el cierre permanece en la lata (SOT),
- no permiten el pasaje de la luz y por ello el contenido no está expuesto a los riesgos debidos a la luz,
- por medio de impresión o etiqueta pueden tener un diseño publicitario muy efectivo,
- la bebida en la lata se puede pasterurizar bien,
- luego del cierre, las latas ya no absorben oxígeno,
- las latas son fáciles de reciclar.

Las latas son fabricadas en dos piezas (lata y tapa) a partir de chapas de acero o aluminio; la tapa siempre es de aluminio.

La decisión de optar por acero o por aluminio es menos una cuestión de calidad y depende mucho más de las prácticas normales del país y de la planta de envasado. Para ambos materiales hay una serie de ventajas y desventajas, las cuales, sin embargo, no son decisivas en lo que concierne a la calidad. La tecnología de fabricación de latas es la misma.

La lata es fabricada por embutido de profundidad o por embutido y estirado (Figura 5.69). El criterio del embutido de profundidad consiste en que se realiza un cambio de forma manteniendo el espesor de material. Por el contrario, en el proceso de embutido y estirado, el espesor de material se reduce.

La lata, que debe tener una resistencia a la presión interna de mínimamente 6 bar (m), es fabricada de un material de partida con espesor aproximado

de 0,27 mm para latas de acero,
de 0,30 mm para latas de aluminio.

Este espesor de material se mantiene casi en la zona del fondo

0,25 mm para latas de acero,

0,29 mm para latas de aluminio.

Pero en la pared embutida y estirada, el espesor de material se reduce hasta aproximadamente

0,09 mm para latas de acero,

0,11 mm para latas de alumino.

En la zona de rebordeado se obtiene un espesor de aproximadamente

0,15 mm para latas de acero,

0,18 mm para latas de aluminio

para garantizar un engatillado suficientemente firme.

Como consecuencia de esto también se pone de manifiesto que la lata obtiene su estabilidad por la presión interna. Una lata vacía puede ser estrujada fácilmente con la mano. Para una presión interna suficiente en el caso de bebidas sin gas, se debe establecer allí artificialmente una presión interna por adición de un gas inerte, por ejemplo, por medio de una gota de nitrógeno líquido. Las latas están provistas de un barnizado interno neutro.

Las tapas de lata son fabricadas de chapa de aluminio, como tapa con tira para apertura rápida (Figura 5.70). Una tapa pesa aproximadamente 3,8 g. Hoy en día ya sólo se utilizan las tapas tipo SOT (stay-on-tab), en las cuales, luego de la apertura, el sistema de apertura completo permanece en la tapa y de esta manera no contamina el medio ambiente. Usualmente, el ancho de abertura de tapa es 15 mm; en algunos sistemas se agranda hasta 25 mm.

En lo que respecta al tamaño y las formas de las latas de bebidas, hay una variedad y un desarrollo que, en lo esencial, tienden a más reducción de masa, procesos más rentables y satisfacción de los requerimientos de los clientes. Esto incluye también los tamaños de tapa, los cuales se reducen de las hasta ahora usuales tapas 2.06 a las tapas 2.02, y en latas más pequeñas ya sólo son tapas 2.00. El espesor de material:

- en el caso de tapas 2.06 es 0,27 a 0,28 mm y en
- tapas 2.02 es 0,22 a 0,23 mm.

Los tamaños de lata más usuales son:

lata de aluminio 2.06
275 ml, 296 ml, 330 ml, 355 ml,
375 ml, 440 ml, 500 ml

lata de acero 2.06
275 ml, 296 ml, 330 ml, 355 ml,
375 ml, 440 ml, 500 ml

lata de aluminio 2.02
330 ml, 440 ml, 500 ml

lata de acero 2.02
330 ml, 440 ml, 500 ml

lata de acero 2.00
150 ml, 200 ml, 250 ml

con tapa estándar o tipo miniseam
(296 ml = 10 US fl oz., 355 ml = 12 US fl.oz.)

La masa de una lata es aproximadamente:

lata de aluminio 2.06
330 ml 12 g 500 ml 16 g

lata de acero 2.06
330 ml 27 g 500 ml 37 g

Las medidas principales de la latas de 0,33 l y de 0,5 l con tapa 2.06 se citan a continuación y se ilustran en la Figura 5.71.

	Lata de 0,33 l	Medidas en mm	Lata de 0,5 l
A altura de lata cerrada	115,2±0,4		163±0,4
B alura de espacio de cabeza	12,2±0,5		14±0,5
C diámetro interior de boca		57,4±0,3	
D diámetro exterior de lata		66,1±0,4	
E diámetro de anillo de apoyo	53,6±0,2		52,8±0,2
F profundidad de fondo		11,2±0,3	

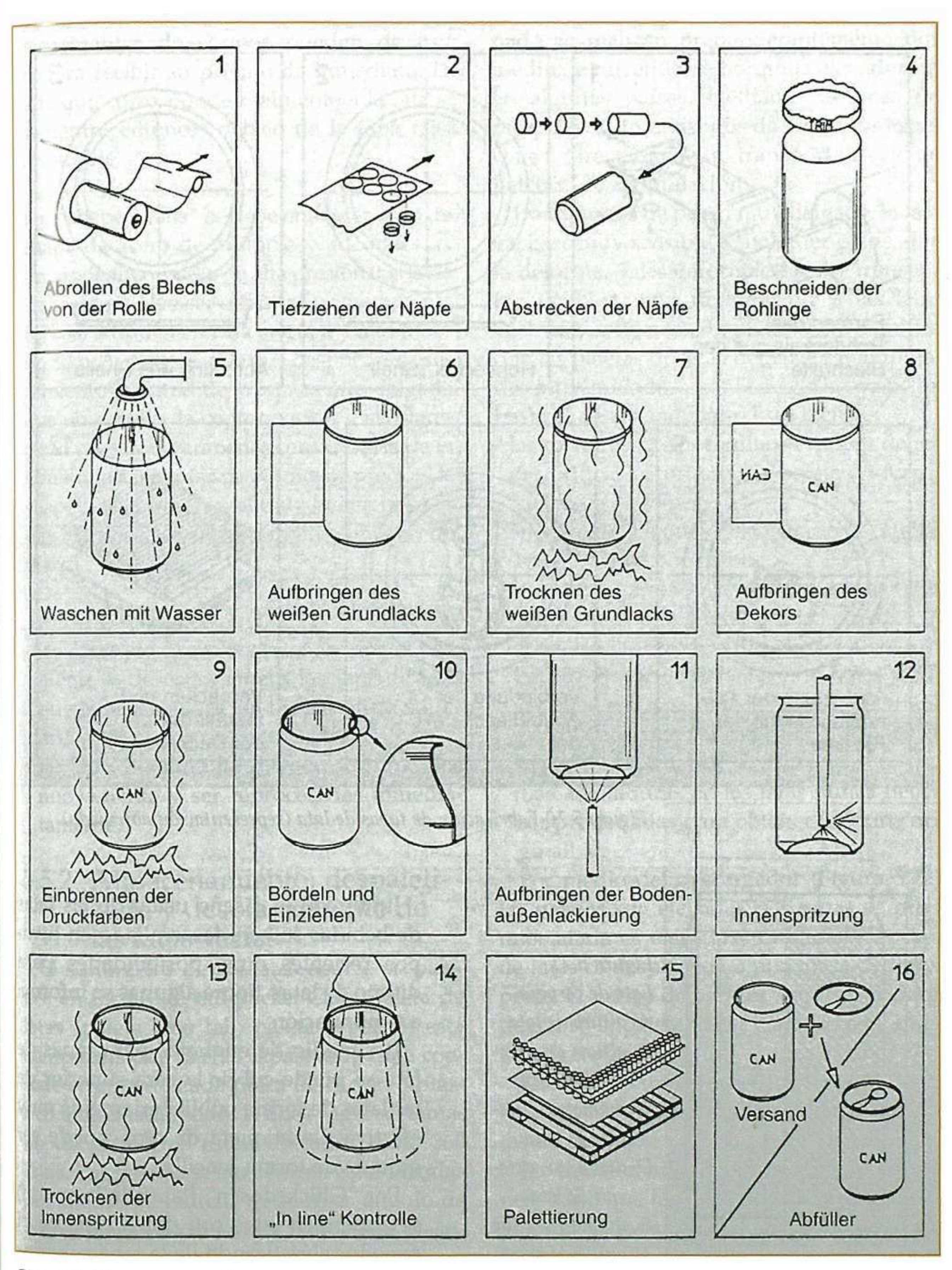


Figura 5.69
Fabricación de latas de cerveza

5

Figura 5.70 Fabricación de tapas de lata (representación abreviada)

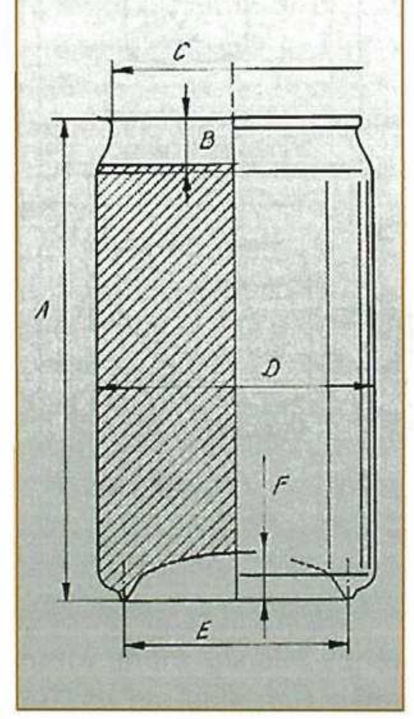


Figura 5.71
Lata de cerveza
A altura de lata
B altura de espacio de cabeza
C diámetro interior de boca
D diámetro exterior de lata
E diámetro de anillo de apoyo
F profundidad de fondo

Junto con el diseño usual de las latas de bebidas se han desarrollado en tiempos recientes otras posibilidades para diseño de latas. Sobre algunas se informa a continuación.

Por medio de etiquetas para tapas de lata se puede cubrir la cara superior de las latas de forma publicitariamente muy efectiva. La etiqueta de tapa puede ser quitada de forma sencilla.

Por "Glücksdosen" (latas de la suerte) se entienden latas con doble tapa. Si el ganador abre tirando de la tapa superior falsa, que no es detectable como tal, el premio que está escondido debajo es re-

cor ocible inmediatamente. Por ejemplo, los pa icipantes de sorteos pueden de esta ma era recibir su premio de inmediato. La tap que corresponde realmente a la lata se enc entra entonces debajo de la tapa falsa arr ncable.

Po "shaped cans" se debe entender latas de ch pa de acero de múltiples variedades. A tra és de un proceso de alta presión, las latas de acero pueden ser estiradas primeramente un 20 a 30% de la forma original y más tarde un 80%. Aun a pesar de que después del estiramiento la pared de la lata es más delgada que un cabello, la conformación y el estampado causan un aumento considerable de la estabilidad. A pesar de su mayor precio, las shaped cans tienen una muy buena posiblidad debido a su inconfundible imagen de marca.

Debería señalarse que:

- las latas de acero reaccionan magnéticamente y de esta manera las latas usadas pueden ser separadas fácilmente y suministradas al proceso de reciclaje.
- las latas de alumino pueden ser fundidas nuevamente y ser reprocesadas inmediatamente.

5.5.2 Almacenamiento, despaletizado y desplazamiento de las latas vacías

El suministro de las latas ocurre en paletas, en forma de tall-packs. Cada paleta de latas (paleta tipo tall, paleta especial) está compuesta por 15 a 23 capas; cada capa consiste en una delgada placa de cartón o plástico intercalada, sobre la que –según el tamaño de la paleta– están ubicadas hasta 360 latas. Las paletas se encuentran estabilizadas por medio de marcos de perfiles ángulo de acero, placa de cubierta y bandas de plástico, de manera tal que también es posible un apilado de las paletas.

La descarga de los camiones y el almacenado se realizan preponderantemente por medio de carretilla de horquilla elevadora y, en algunos países, mediante sistemas de recepción automatizados de vehículos especiales directamente a transportadores de paletas por acumulación.

Dado que es de pared muy delgada, la lata vacía es muy sensible a cualquier golpe, que la deforma. Tales deformaciones se transmiten también muy rápidamente a las latas vecinas y a hileras completas. Esto significa que las paletas de latas deben ser manipuladas muy cuidadosamente desde la recepción hasta el desplazamiento. Esto incluye:

" las carretillas de horquilla elevadora deben introducir las uñas en la paleta de forma suave y sin golpes,
" el uso de listones distanciadores ayuda contra daños por golpes,
" durante el apilado se debe mantener distancia de la pila lateral y hacia atrás,
" antes de la introducción de la paleta a la caja de elevación deben ser quitadas todas las latas en las se detecten daños de transporte, dado que causan interrupciones en la corriente de latas.
" ¡Las abolladuras en las latas nunca deben ser presionadas para obtener la forma original!

Por medio del descargador (Figura 5.72), las paletas son elevadas por capas, la placa intercalada es elevada y quitada, y la capa de latas es desplazada a una mesa de transporte. El marco de perfiles ángulo es colocado sobre la paleta vacía y ambos son apilados y retornados.

La mesa de transporte consiste en cadenas de cintas de charnelas, cintas de acero o cintas de plástico.

La transferencia debe ocurrir sin escalones, dado que las latas no son muy estables al estar paradas y pueden tumbarse muy fácilmente. El posicionado estrechamente abarrotado de las latas ya desplazadas de la

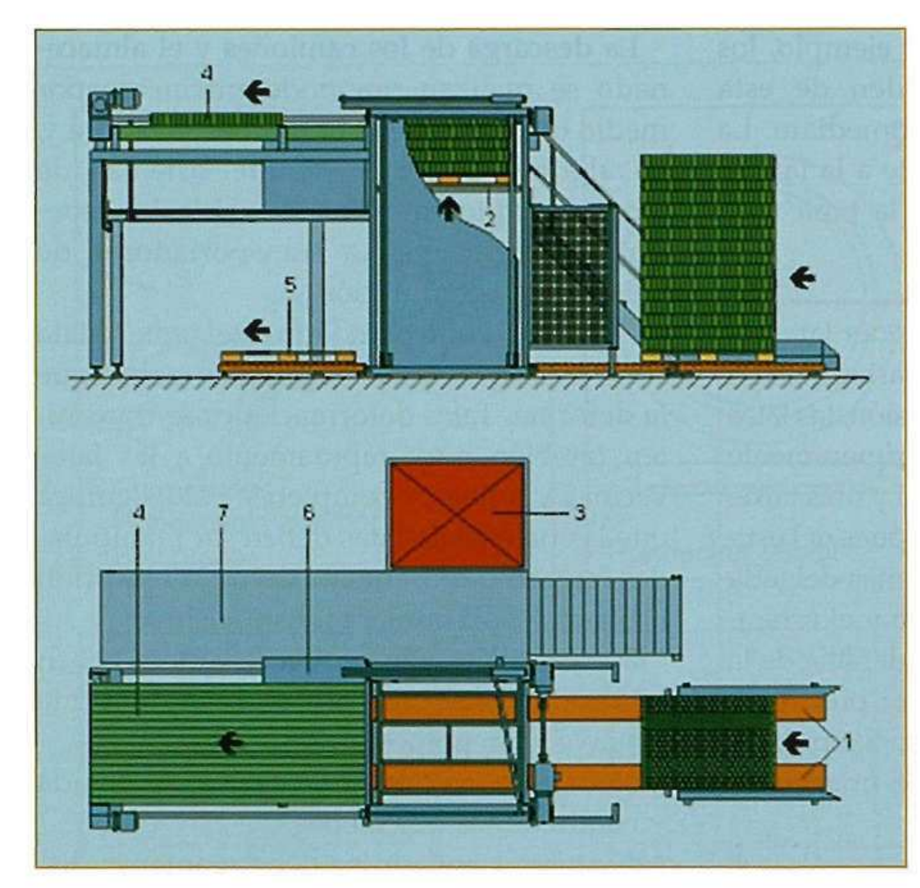


Figura 5.72
Desplazador de recipientes tipo "Palmaster"
(Empresa Krones, Neutraubling)
(1) transportador de rodillos por gravedad,
(2) elevador de paletas (caja de elevación),
(3) depósito de capas intermedias,
(4) descarga de recipientes,
(5) salida de paletas vacías,
(6) puesto de mando,
(7) plataforma de operación.

paleta aumenta la estabilidad de éstas. Sobre el transportador ancho deben estar colocadas barandas y guías laterales.

Al final de la mesa de transporte ocurre una separación por medio de tramos de transporte escalonados por velocidad (ver Sección 5.7.1); en el caso de elevados rendimientos de equipo (mayor que 1200 latas/minuto), el proceso de separación puede ser apoyado por aire comprimido. Para un subsiguiente transporte prolongado de las latas separadas, son utilizados ventajosamente los transportadores por cable.

Las latas son ahora giradas hacia abajo, conducidas a la enjuagadora, donde se las rocía y luego se las gira nuevamente. Posteriormente, las latas son conducidas a la inspeccionadora de latas vacías.

Frecuentemente, las latas son codificadas (fecha mínima de conservación) aun antes de alcanzar la enjuagadora.

El suministro y tratamiento de las tapas de lata es por lejos menos complicado que el de las latas. Cuando son suministradas, las tapas de lata tienen un diámetro de rizado que aún es aproximadamente 8 mm más grande que después de realizado el cierre. Están embaladas en bolsas de papel de aproximadamente 600 piezas cada una; el suministro se efectúa en paletas, sobre las cuales se encuentran ubicadas hasta 246 000 tapas (2.06). Las bolsas son sujetadas con cintas de papel Kraft.

5.5.3 Inspección de las latas vacías

Como consecuencia de su muy reducido espesor, las latas vacías son sensibles a deformaciones, que pueden producirse muy fácilmente durante el transporte, así como en el almacenamiento y en la extracción de las latas del almacenamiento. De esta manera se produce la colisión (crash) en el dispositivo de cierre si el borde superior de la lata no es redondo.

Los daños causan perdidas de producción, producción de descarte y deterioro de imagen con los clientes.

Es por eso que las latas vacías deben ser controladas antes del llenado (Figura 5.72a) en lo que respecta a:

- redondez de las latas,
- deformaciones del reborde en la parte superior de la lata,
- deformaciones en la pared y en el fondo de la lata,
- defectos en el barnizado interior y
- cuerpos extraños en el interior de la lata.

Las latas objetadas deben ser rechazadas y extraídas, porque provocan una calidad deficiente y costos consecutivos innecesarios.

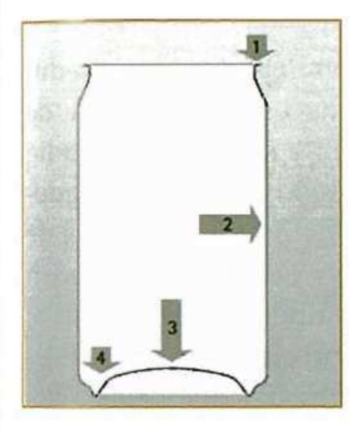


Figura 5.72a
Inspección de la lata vacía
(1) inspección del reborde, (2) inspección de pared, (3) inspección del fondo de la lata, (4) inspección de la superficie de apoyo

La inspección de las latas vacías es realizada por una inspeccionadora de latas vacías, que es intercalada entre el descargador y la enjuagadora. Está compuesta por una barrera de luz, una cámara que puede examinar hasta 140 000 latas/hora, y un empujador, que separa del resto y de forma inmediata las latas defectuosas. La utilización de inspeccionadoras de latas vacías todavía no es usual en general (por motivos de costos).

Las latas no objetadas son suministradas a la enjuagadora de latas.

5.5.4 Enjuagado de las latas

En el enjuagado de las latas livianas se prescinde del agarrado y el volteo en la enjuagadora, que son usuales para las botellas, dado que un agarrado causaría irremediablemente deformaciones en el cuello sensible de la lata. Dado que el desplazamiento ya de por sí está combinado con una elevación, las latas que se mueven separadamente a gran altura pueden ser puestas al revés sin problemas y ser posteriormente sometidas a un rociado de enjuague mientras se deslizan lentamente hacia abajo (Figura 5.73). Hoy en día, las enjuagadoras son construidas con una pendiente de aproximadamente 30°.

Los volteadores pueden ser cambiados rápidamente de acuerdo con el tamaño de lata.

Luego de la finalización del goteo, las latas son giradas nuevamente por un segundo volteador, para quedar con la boca hacia arriba, y se las transfiere a la llenadora de latas.

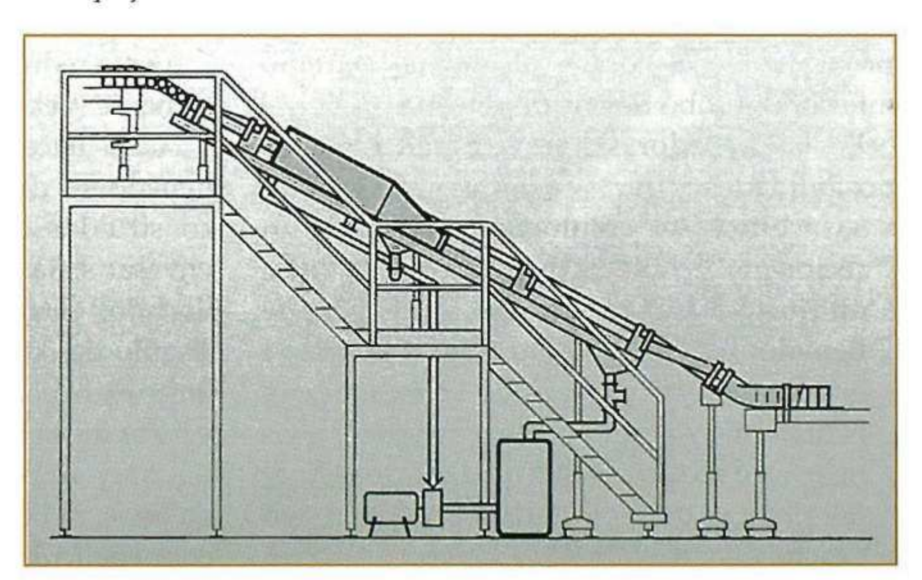


Figura 5.73
Enjuagadora de latas

5.5.5 Llenado de las latas

En el llenado de las latas de pared delgada ocurren algunos problemas:

- si una lata es apretada con la misma presión de apriete que la aplicada con una botella, la lata será estrujada inevitablemente, ya que sólo soporta una presión axial incomparablemente más reducida;
- si una lata es (pre)evacuada como una botella, se contraerá inevitablemente, dado que es de pared delgada y con ello sensible al vacío.

Para el llenado de latas son necesarias por ello llenadoras separadas. Por este motivo, el llenado de las latas ocurría primeramente a través de un tubo largo, más adelante –y como en muchos equipos aún hoy en día–, a través de numerosos tubos de llenado cortos. En todas las llenadoras modernas de latas, la bebida a envasar es introducida a lo largo de la pared de la lata como una película continua de líquido.

Desde el punto de vista del llenado, se distinguen dos grupos en las llenadoras de latas:

- llenadoras por altura (llenadoras por nivel) y
- llenadoras por volumen.

Tal como en las llenadoras de botellas, que en su mayoría son llenadoras por altura, el proceso de llenado en la llenadora de latas por altura (llenadora por nivel) finaliza tan pronto como el líquido alcanza el extremo inferior del tubo de gas de retorno.

En las llenadoras por volumen hay dos posibilidades:

- se acumula el volumen deseado en un recipiente dosificador separado, en tanto que justo finaliza el proceso precedente de llenado. Si la cantidad está dosificada exactamente, el proceso de llenado puede ocurrir muy rápidamente, porque no es necesario reducir el flujo de líquido al final del proceso de llenado debido al volumen exacto;
- Se determina el volumen exacto, por ejemplo, por medio de un caudalímetro magneto-inductivo.

A pesar de que los principios básicos en el llenado de latas son los mismos que en muchas llenadoras de botellas, es decir:

- barrido con CO_2 y establecimiento de contrapresión con CO_2,
- llenado y llenado rápido,
- reducción de la velocidad de llenado y ajuste de la altura exacta de llenado,
- alivio lento de presión para prevenir el espumado,

hay, en el caso de las latas, algunas particularidades adicionales:

- las latas vacías tienen una masa muy reducida; por ello es necesario guiarlas de forma muy tranquila y segura. Por medio de una gran aceleración radial en llenadoras muy grandes o debido a corrientes de aire muy fuertes, las latas vacías pueden ser sacadas completamente fuera de pista;
- las latas vacías no son elevadas para el llenado, sino que partes del dispositivo llenador son descendidas sobre la lata para el llenado a los efectos de realizar una conexión hermética entre la lata y el dispositivo de llenado;
- la realización de la conexión lata - dispositivo llenador es problemática, porque la lata sólo tiene una reducida estabilidad debido a su espesor de pared extremadamente reducido y puede ser estrujada fácilmente (ver cámara de presión diferencial).

Hasta hace poco tiempo, los dispositivos llenadores de las llenadoras de latas eran construidos de manera tal que la bebida a envasar salía de 14 a 16 pequeños tubitos de llenado, entraba fluyendo a la lata en un ángulo de 30 a 45° y corría hacia abajo a lo largo de la pared interior de ésta (Figuras 5.75 y 5.76). Tales llenadoras están también hoy en día muy en uso. En las llenadoras modernas de latas, la bebida ingresa fluyendo a la lata como película continua de líquido.

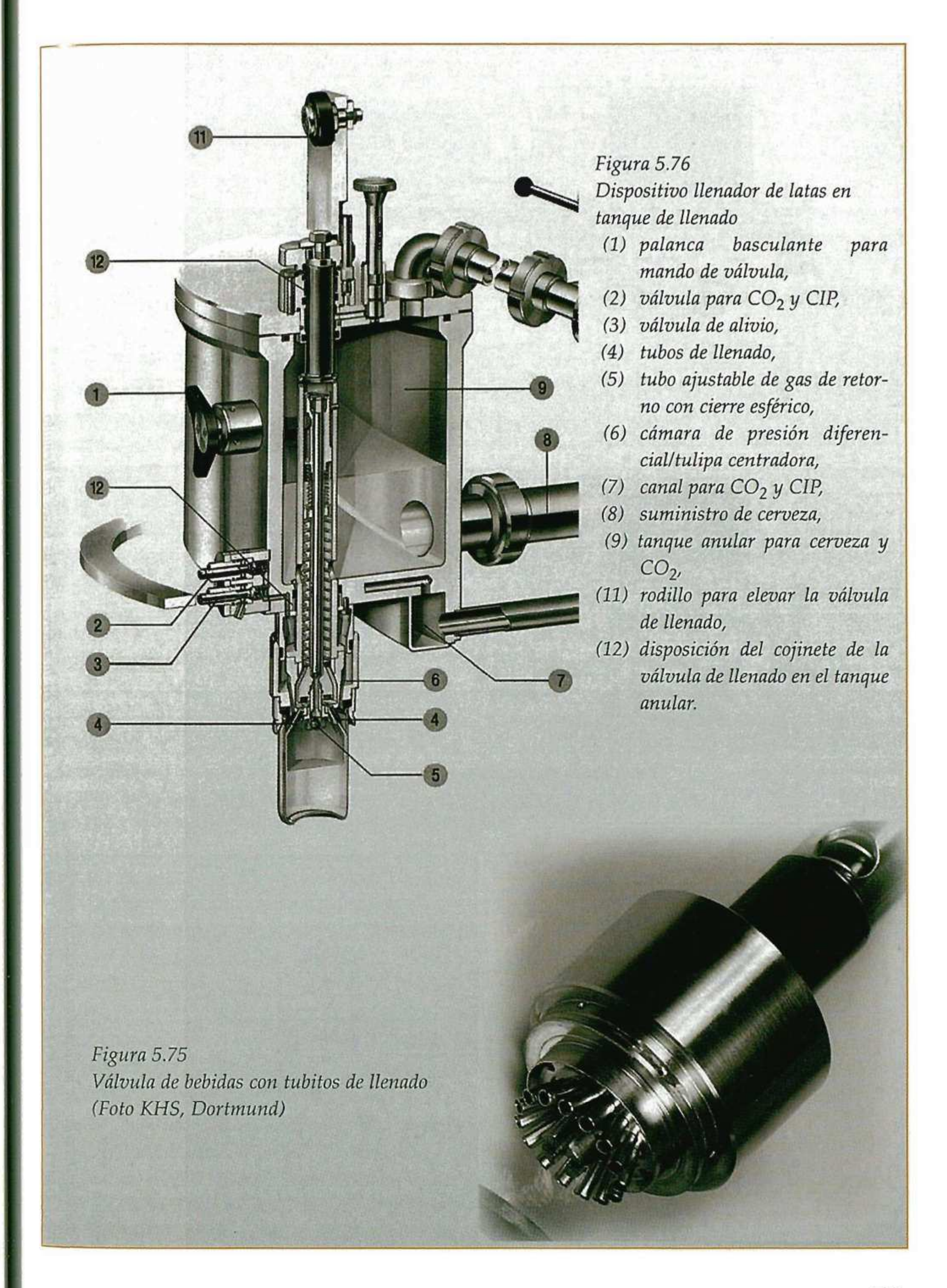


Figura 5.76
Dispositivo llenador de latas en tanque de llenado

(1) *palanca basculante para mando de válvula,*
(2) *válvula para CO_2 y CIP,*
(3) *válvula de alivio,*
(4) *tubos de llenado,*
(5) *tubo ajustable de gas de retorno con cierre esférico,*
(6) *cámara de presión diferencial/tulipa centradora,*
(7) *canal para CO_2 y CIP,*
(8) *suministro de cerveza,*
(9) *tanque anular para cerveza y CO_2,*
(11) *rodillo para elevar la válvula de llenado,*
(12) *disposición del cojinete de la válvula de llenado en el tanque anular.*

Figura 5.75
Válvula de bebidas con tubitos de llenado (Foto KHS, Dortmund)

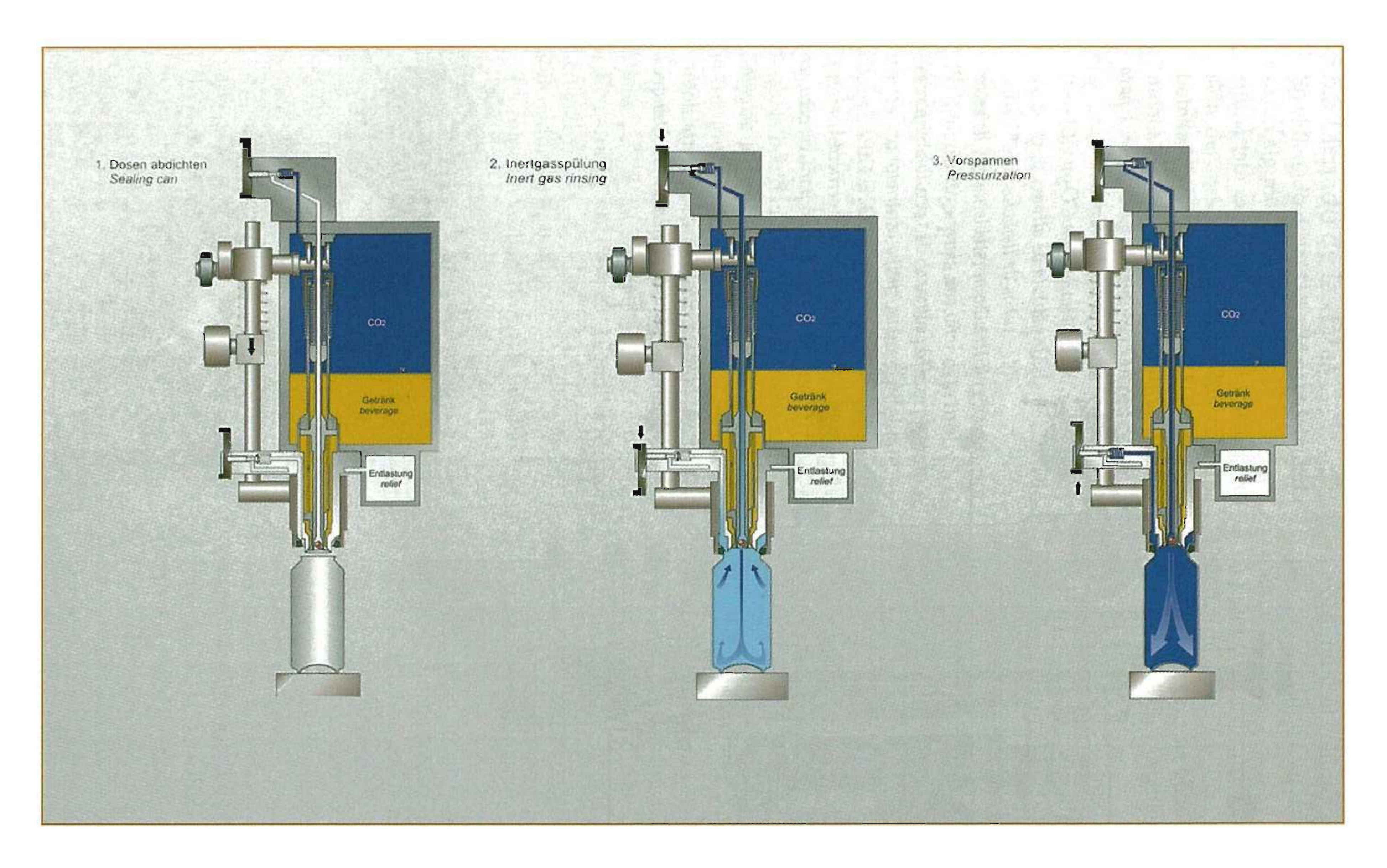
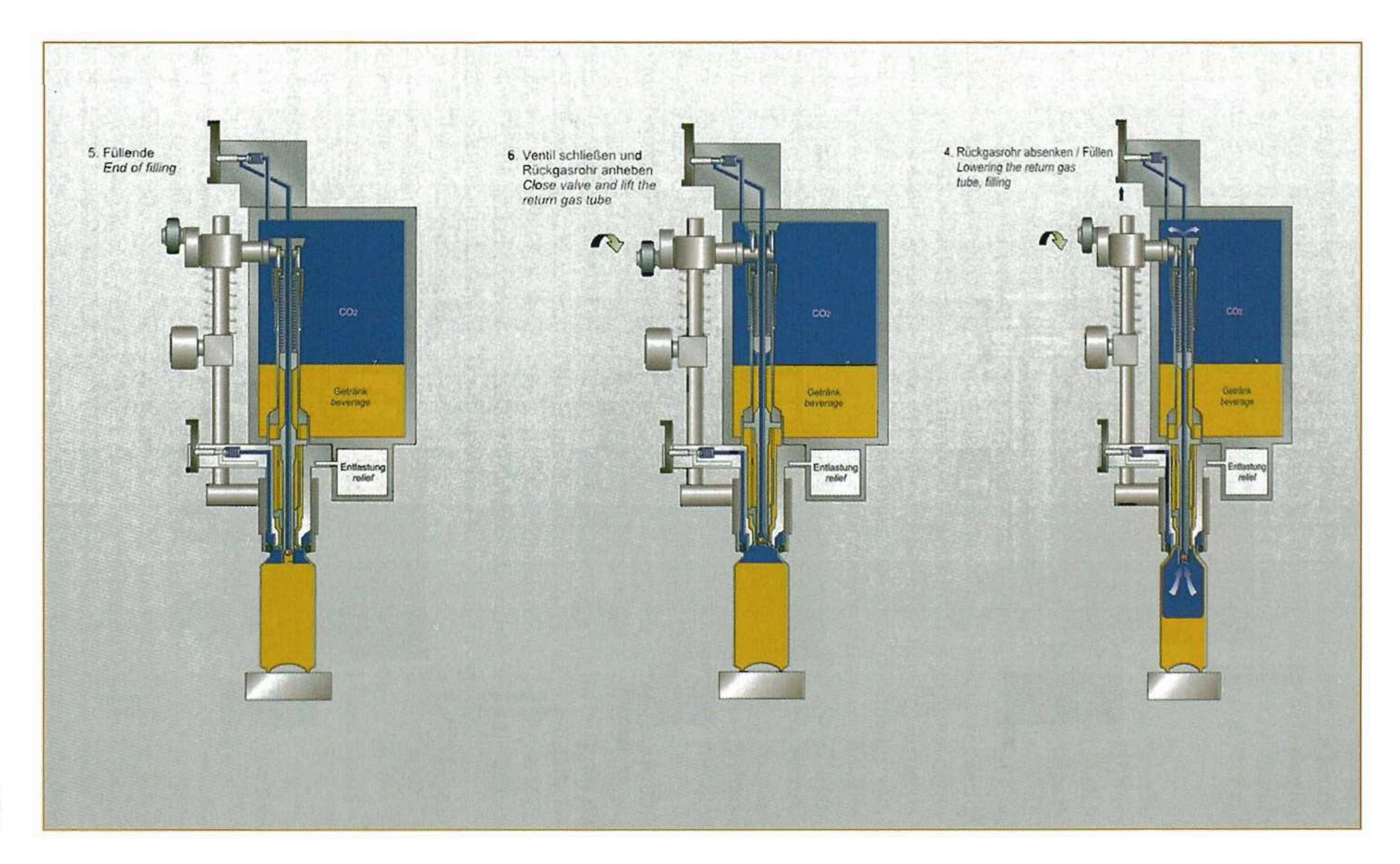


Figura 5.77

Fases de llenado en la llenadora mecánica de latas

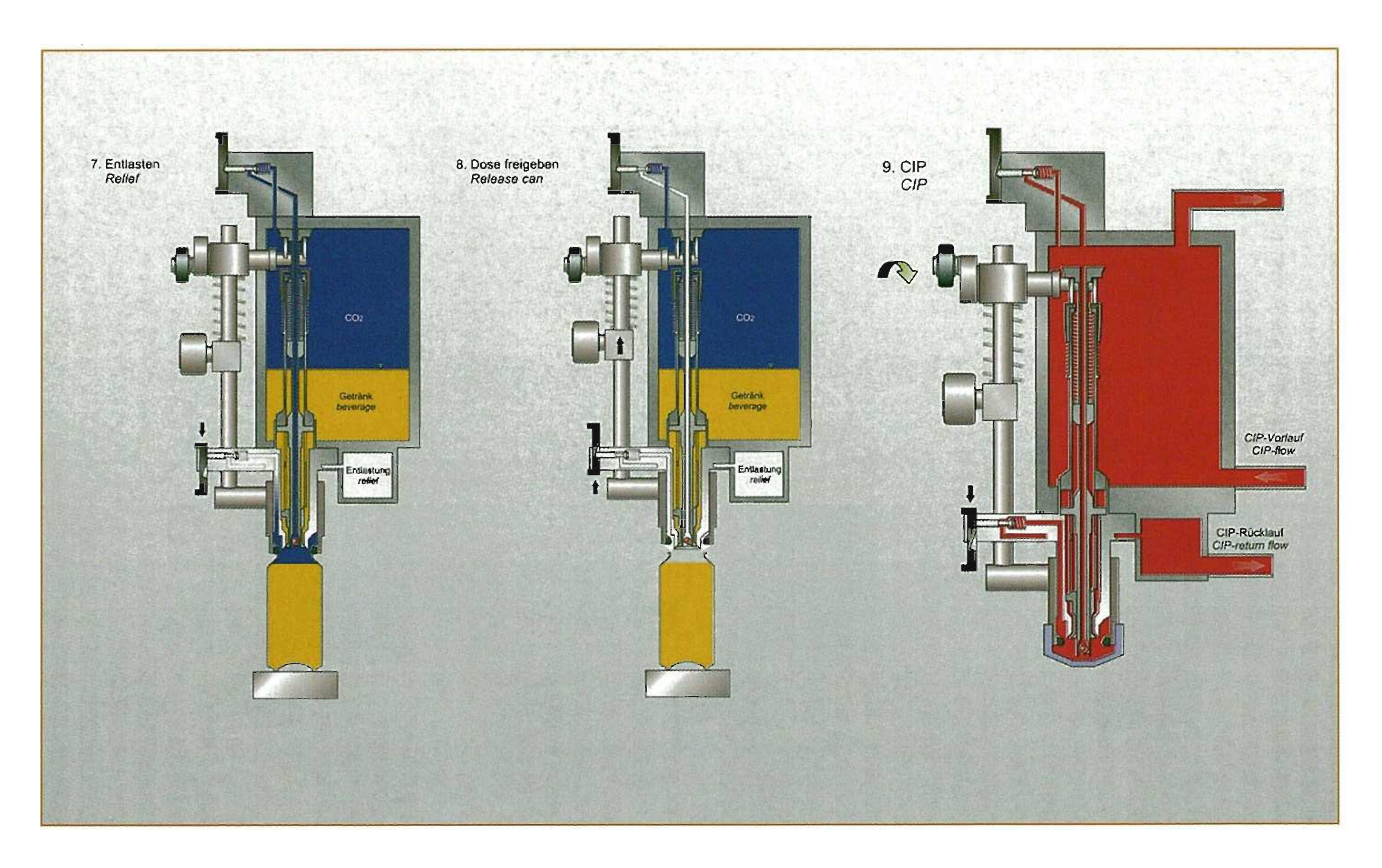
Tipo DMD (Empresa KHS, Dortmund). Explicaciones en el texto en lo referente a las fases de llenado.



5. Füllende
End of filling
CO2
Getränk beverage
Entlastung relief
6. Ventil schließen und Rückgasrohr anheben
Close valve and lift the return gas tube
CO2
Getränk beverage
Entlastung relief
4. Rückgasrohr absenken / Füllen
Lowering the return gas tube, filling
CO2
Getränk beverage
Entlastung relief

5

5



7. Entlasten
Relief
CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
8. Dose freigeben
Release can
CO2
Getränk
beverage
Entlastung
relief
9. CIP
CIP
CIP-Vorlauf
CIP-flow
CIP-Rücklauf
CIP-return flow

5. 5.1 Llenadoras mecánicas de latas

En la llenadora de latas Innofill DMD (Empresa KHS, Dortmund) (Figura 5.77), las latas son ubicadas primeramente debajo del dispositivo llenador (Pos. 1). De inmediato son aisladas herméticamente del exterior por el dispositivo llenador que desciende y la válvula para el barrido con CO_2 (Pos. 2) es abierta por medio del accionamiento de válvula (flecha). Ya durante el descenso del dispositivo llenador fluye gas inerte, generalmente CO_2, desde el tanque y a través del tubo de gas de retorno a la lata. De esta manera, el aire que se encuentra en la lata es conducido a través de una válvula al canal de gas de escape. ¡Como es sabido, no se considera una evacuación debido a la sensibilidad al vacío de la lata con su pared delgada!

Para el establecimiento de la contrapresión se cierra ahora la válvula de gas de escape; a través de la válvula de establecimiento de contrapresión ingresa ahora fluyendo CO_2 a la lata y eleva la presión del contenido hasta alcanzar el total equilibrio de presión con el tanque (Pos. 3).

Luego de obtenido el equilibrio de presión, se hace descender el tubo de gas de retorno por medio de una palanca de rodillo, se abre la válvula de líquido y comienza el proceso de llenado. El producto a envasar entra ahora a través de un paso anular y fluye tranquilamente a lo largo de la pared interna de la lata como película continua de líquido, en tanto que el CO_2 es retornado a presión al tanque a través del camino de gas de retorno (Pos. 4). El llenado finaliza tan pronto como el producto a envasar cierra el camino de gas de retorno por elevación de una esfera (roja) (Pos. 5). El proceso completo de llenado dura sólo aproximadamente 5 segundos.

Por medio de una palanca de rodillo se cierra la válvula de líquido y se eleva el tubo de gas de retorno (Pos. 6). Para alivio (Pos. 7), la presión en el espacio de cabeza de la lata es liberada en el canal de alivio (flecha) a través de una válvula de alivio. La formación de espuma durante el alivio de presión es muy reducida. Luego se eleva la válvula de llenado y se desbloquea la lata (Pos. 8).

Ajuste de altura

Dado que las latas vacías no son elevadas para el proceso de llenado, es necesario un ajuste de altura en el caso de un cambio en la altura de la lata. A raíz de ello, toda la parte superior de la llenadora, incluyendo el tanque anular y las válvulas de llenado, es movida exactamente a la altura requerida por medio de varios husillos y corona dentada. A los efectos de lograr tiempos de preparación mínimos, las correspondientes alturas de lata están almacenadas en ordenador.

Pero también la altura de llenado en la lata misma, hoy en día, es modificable a botonera. La altura de llenado en la lata puede ser regulada en ±1,5 mm hacia arriba y hacia abajo. Alternativamente se deben cambiar los tubitos de gas de retorno.

Así, la altura de espacio de cabeza se diferencia en 1,8 mm entre una lata de 0,33 l y una de 0,5 l. El ajuste exacto de la altura de llenado es necesario si se considera lo siguiente: Con diámetro de lata de 66 mm, cada milímetro de diferencia de altura corresponde a un volumen de:

$V = r^2 \cdot \pi \cdot h$

$r = 33 \text{ mm} \quad \pi = 3{,}14 \quad h = 1 \text{ mm}$

$V = 33 \text{ mm} \cdot 33 \text{ mm} \cdot 3{,}14 \cdot 1 \text{ mm}$

$= 3419{,}46 \text{ mm}^3 = 3{,}42 \text{ cm}^3$

Es decir: 1 mm de diferencia de altura significa 3,4 cm^3

Esto es aproximadamente:

1% en el caso de una lata de 0,33 l y
0,7% en el de una lata de 0,5 l.

Por ello se controla el nivel de llenado y el contenido completo de la lata también después del llenado.

5.5.5.2 Llenadoras de latas con llenado volumétrico

Las botellas son llenadas siempre hasta aquella altura de llenado predeterminada, que es determinada por el tubo de gas de retorno o una sonda electrónica. Pero el proceso de llenado debe ser retardado hacia el final del llenado para obtener una altura precisa de llenado. Esto significa una pérdida de tiempo y con ello un menor rendimiento de la llenadora.

Con el objetivo de obviar este problema se han desarrollado procesos de llenado, en los cuales;

- se dosifica previamente el volumen predeterminado de llenado,
- se permite que el volumen dosificado ingrese fluyendo rápidamente y
- se posibilita de esta manera que el siguiente volumen de llenado ya pueda ser dosificado, en tanto la lata llenada es descendida y la siguiente es elevada hacia el dispositivo llenador.

Esto se llama "llenado volumétrico".

Para una dosificación precisa son más apropiados los recipientes angostos, porque entonces la diferencia de alturas se corresponde con un volumen más reducido.

En el caso del sistema de llenado volumétrico de latas VOC (Krones AG, Neutraubling) (Figura 5.78), la dosificación de volumen ocurre en una cámara estrecha de medición con ayuda de una sonda Transsonar flotante, de alta definición, y con una precisión de cantidad de llenado de menos de 1,5 ml. La cámara de medición es llenada sin turbulencias y por abajo (C) a través de la válvula de entrada (5) abierta y con ello queda lista para entregar la cantidad predeterminada de llenado al principio del proceso de llenado.

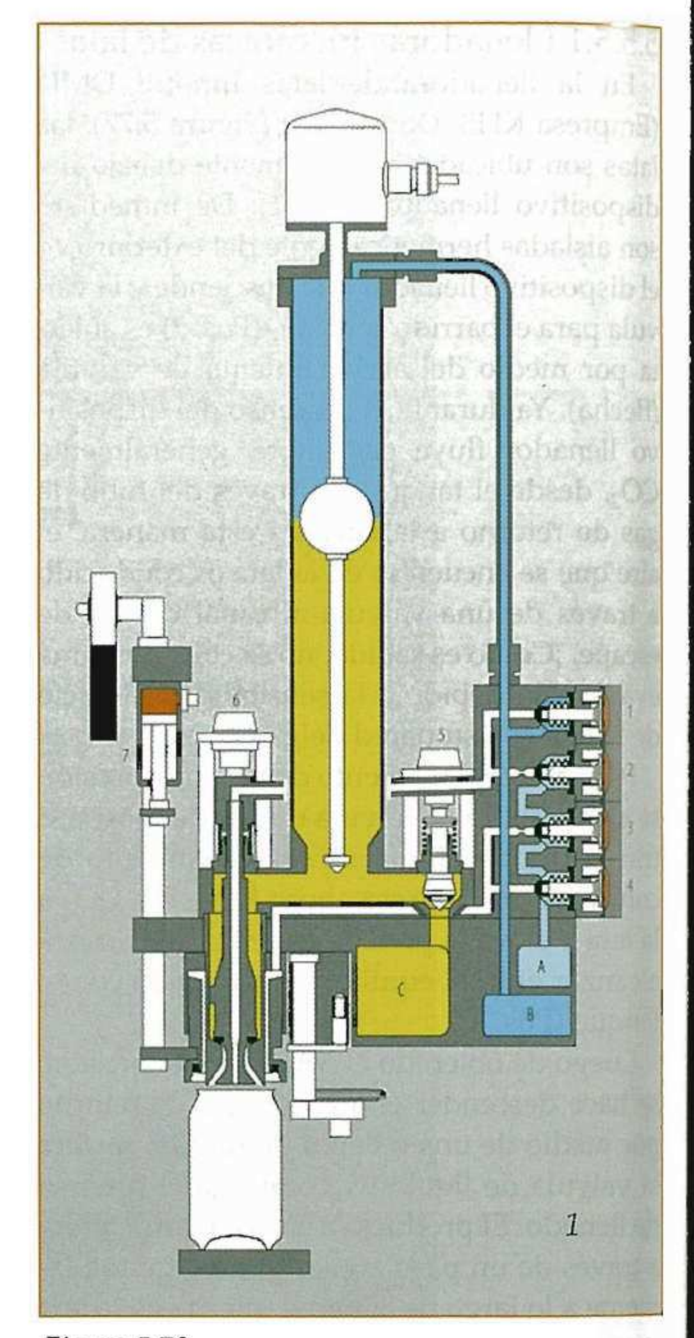
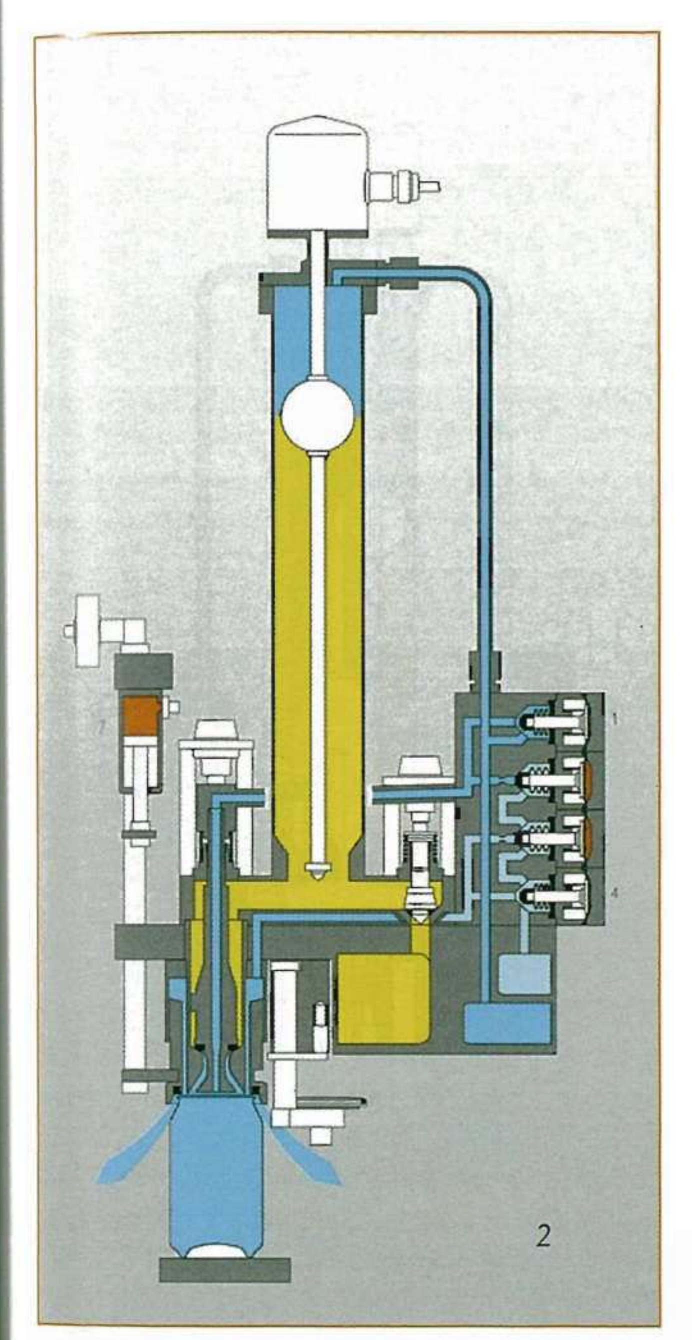
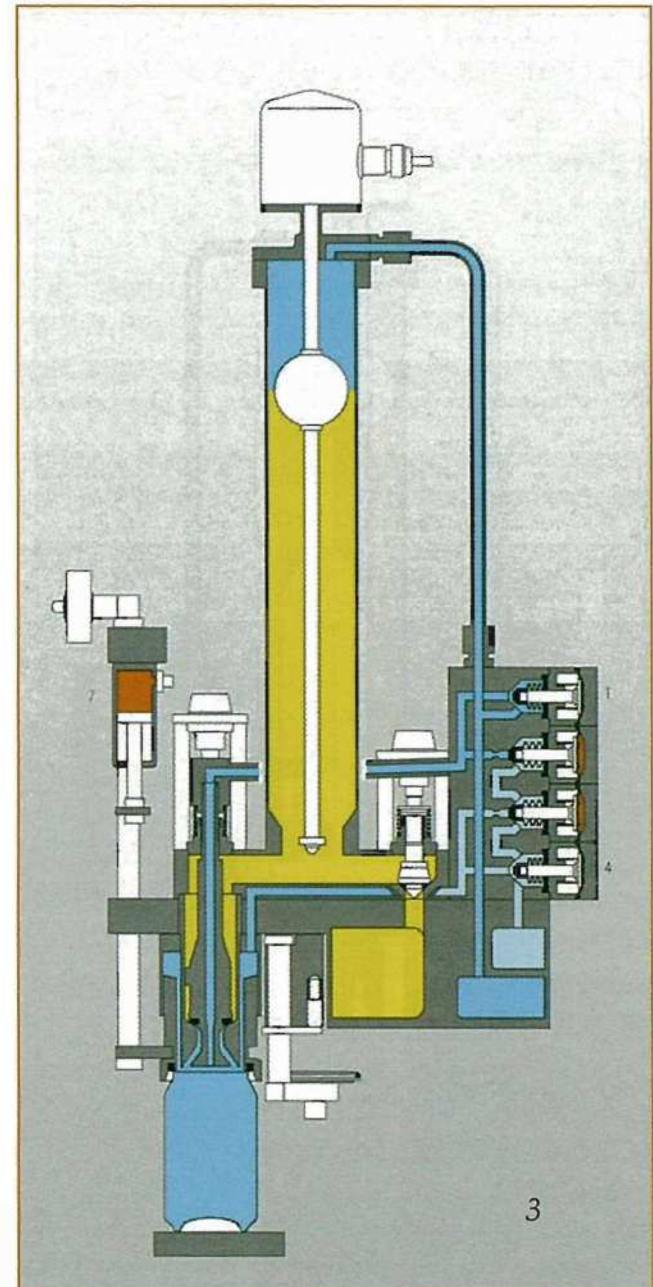


Figura 5.78
Llenadora mecánica de latas con llenado volumétrico (VOC, Krones AG, Neutraubling)
(1) válvula de presurización y de gas de retorno,
(2) válvula de alivio / recorrido de gas de retorno,
(3) válvula de alivio / espacio de cabeza de la lata,
(4) válvula para barrido con CO_2 y para CIP,
(5) cilindro de control de la válvula de suministro de producto,
(6) cilindro de control de la válvula de líquido,
(7) cilindro de control de la unidad elevadora,
(A) canal de alivio, (B) canal de presurización, (C) canal de producto.

Fase 1: Posición inicial

La lata es elevada casi hasta el dispositivo llenador; en esta posición, todas las válvulas se encuentran cerradas.





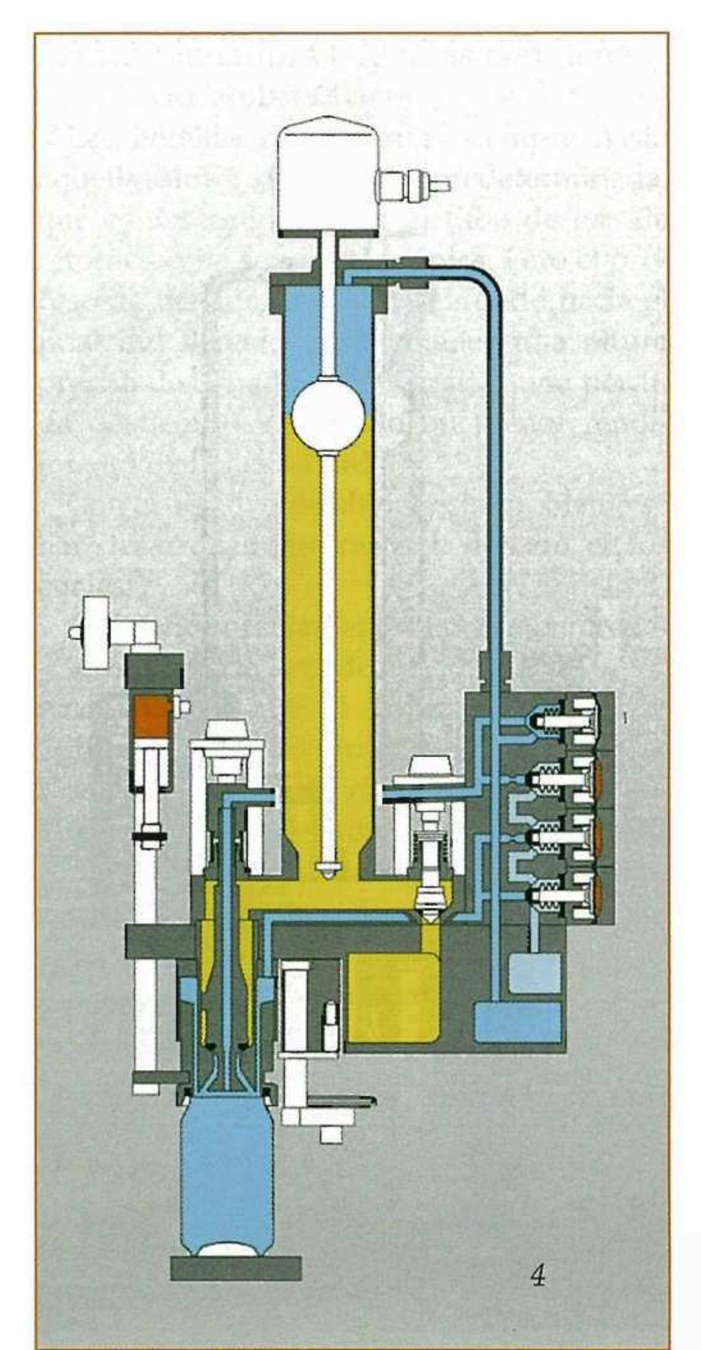
Fase 2: Barrido con CO_2

De la parte superior de la cámara de medición se alimenta CO_2 a la lata, a través de la válvula (1), y se la purga. Dado que la lata aún no se encuentra apretada contra el dispositivo llenador, el aire puede escapar libremente de la lata; se abre para ello la válvula (4), a través de la cual también puede escapar gas.

Fase 3: Barrido con CO_2

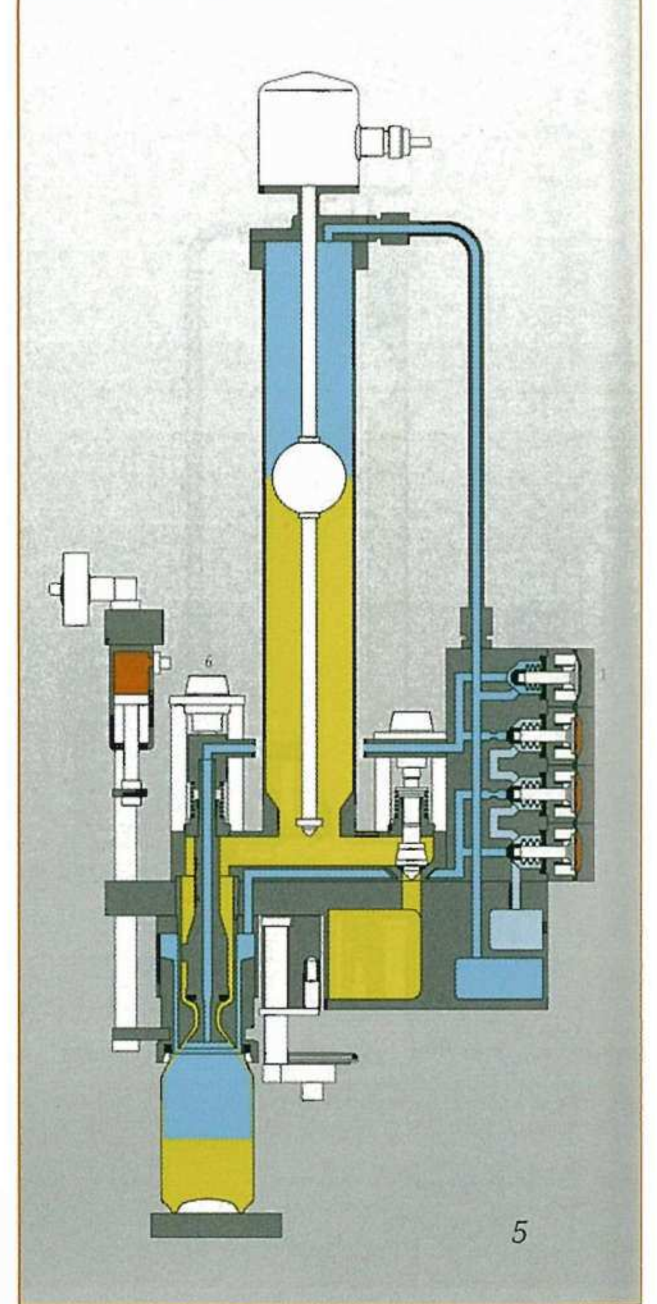
El barrido es continuado a partir de ahora con la lata apretada contra el dispositivo llenador y el aire en fuga es purgado a través de la válvula (4).

Se puede asumir ahora que ha sido desplazado de la lata todo el oxígeno y se lo ha reemplazado por CO_2.



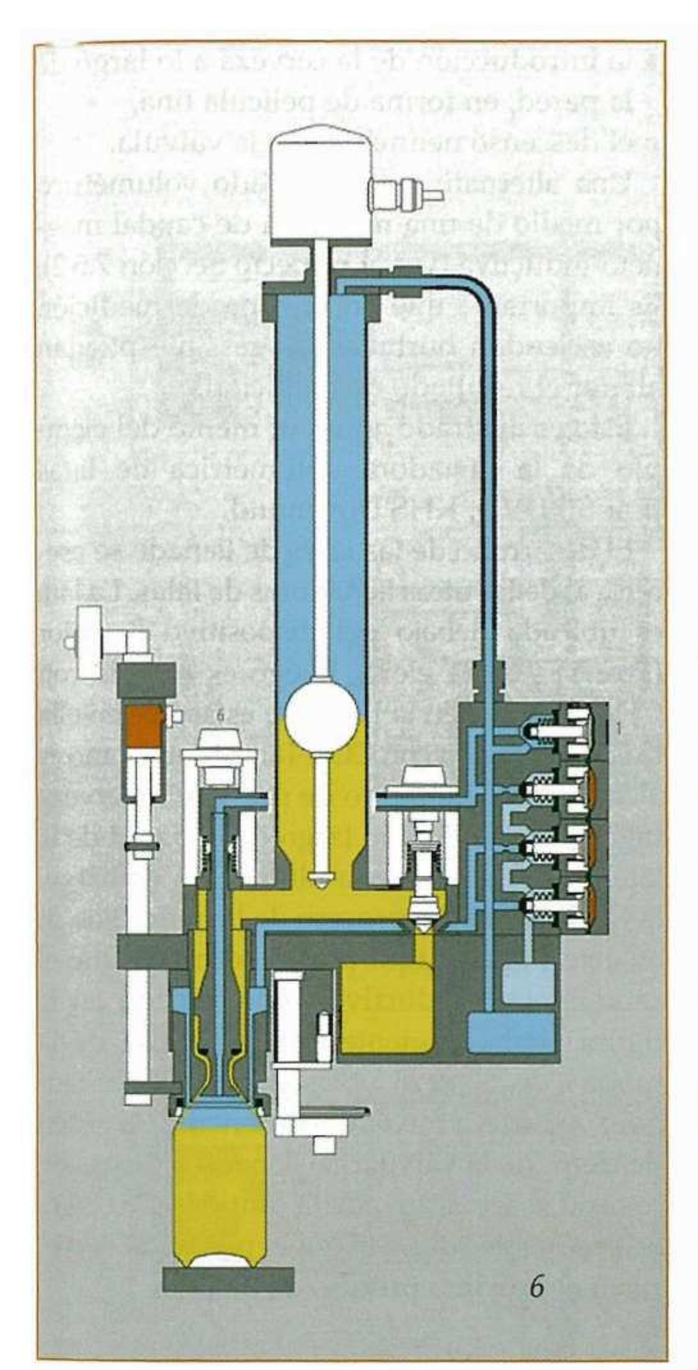
Fase 4: Establecimiento de contrapresión

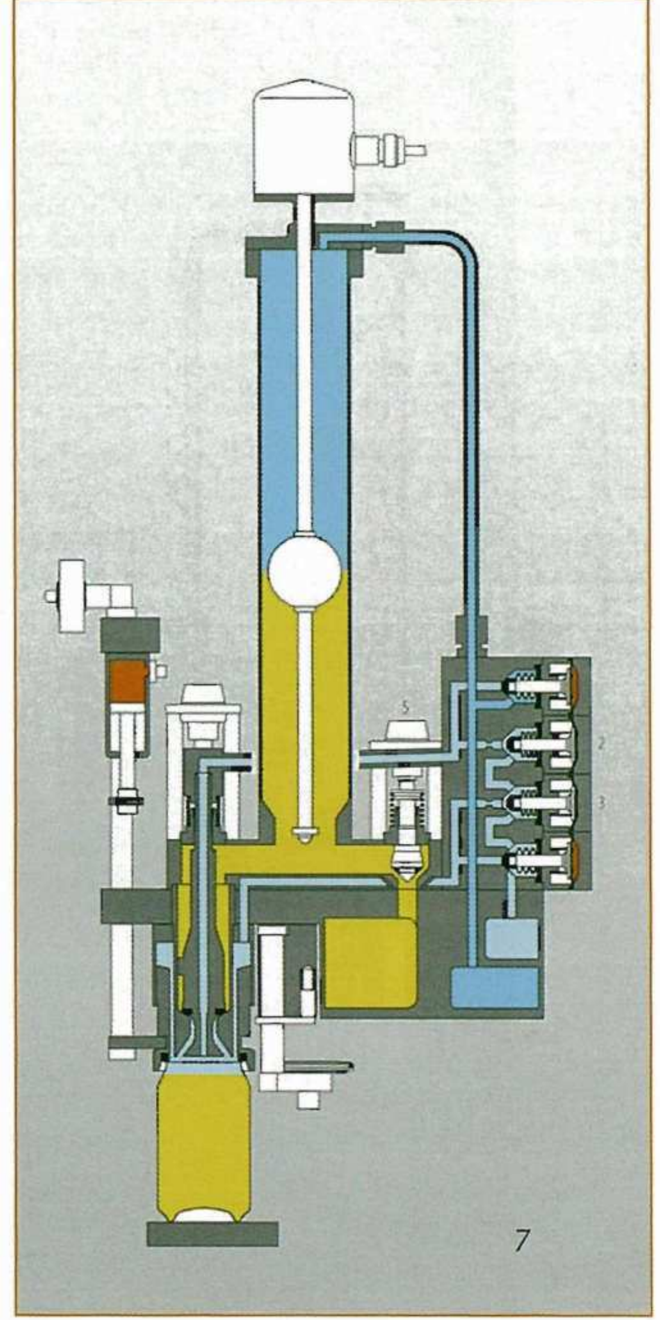
La válvula (4) es cerrada y con ello se alcanza la contrapresión necesaria en la lata.



Fase 5: Llenado

La cantidad de llenado exactamente dosificada se encuentra disponible ahora, al comienzo del proceso de llenado, y ya no es necesario preocuparse respecto de sobrellenados o sublleados. Por apertura de la válvula de llenado, la cantidad predosificada fluye rápidamente a la lata a lo largo de la pared de esta última, que se encuentra bajo contrapresión.





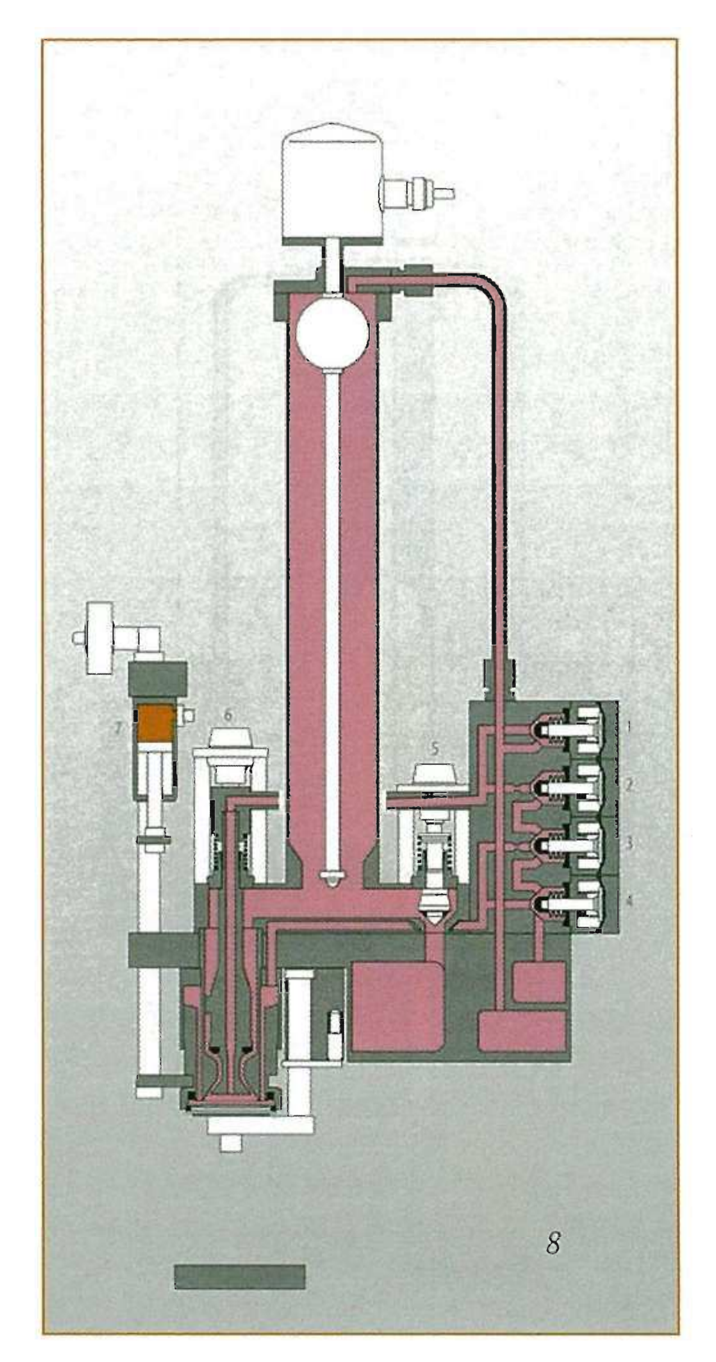
Fase 6: Fin de llenado

La cámara de medición no se vacía completamente, sino sólo hasta una cantidad residual establecida; de esta manera es posible evitar pérdidas por espuma y CO_2, debidas a un rellenado de la cámara por el fondo.

Fase 7: Alivio

A través de dos válvulas de alivio de pasaje estrecho (2 y 3) ocurre ahora una lenta caída de presión en la lata.

Tan pronto como está cerrada la válvula de llenado, se inicia el rellenado de la cámara de medición para el nuevo proceso de llenado. Es decir, se aprovecha también el tiempo que se necesita para el desplazamiento de la lata llenada, la entrada de una nueva lata y el barrido y el establecimiento de contrapresión con CO_2 de la siguiente lata.



Fase 8: Fase CIP

Para la limpieza y la desinfección se cierra el dispositivo llenador y se abren todas las válvulas internas, de manera que esté garantizada una circulación completa de CIP dentro de los elementos de la llenadora.

Como ventajas de este tipo de envasado se consideran además:

- la exactitud de dosificación del llenado volumétrico,
- la válvula de llenado sin partes interiores,
- la introducción de la cerveza a lo largo de la pared, en forma de película fina,
- el descenso neumático de la válvula.

Una alternativa es el llenado volumétrico por medio de una medición de caudal magneto-inductiva (ver al respecto Sección 7.5.2). Es importante que en la zona de medición no asciendan burbujas de gas que puedan alterar el resultado de medición.

Esto es ilustrado aquí por medio del ejemplo de la llenadora volumétrica de latas Innofill DVD, KHS Dortmund.

El desarrollo de las fases de llenado se asemeja al de las otras llenadoras de latas. La lata es ubicada debajo del dispositivo llenador (Pos. 1) y se la eleva. Luego es barrida con CO_2 (Pos. 2) y en la Pos. 3 se establece en ella la contrapresión con CO_2. Tan pronto como es alcanzado el equilibrio de presión, la cerveza ingresa fluyendo a lo largo de la pared de la lata (Pos.4) y llena esta última. Sin embargo, la finalización del proceso de llenado (Pos. 5) es determinada aquí por el hecho de que el caudalímetro inductivo (representado en la figura simbólicamente por la camisa de la tubería de cerveza ubicada debajo del tanque) imparte, a través del ordenador, la orden de cierre de la válvula de llenado y de gas de retorno al ser alcanzada la cantidad de cerveza preestablecida, y libera el pasaje de cerveza en el próximo proceso de llenado.

Cierre pobre en oxígeno

Por medio del barrido de la lata vacía con CO_2, el oxígeno aún existente debe ser eliminado completamente ya en la estrella de entrada. En esto solamente se alcanzan contenidos de oxígeno total de ~ 0,02 mg O_2/l (con 0,6 a 0,8 kg de CO_2/hl), lo cual puede ser considerado bueno para el estado actual de la técnica.

Dado que antes del cierre en el área de la tapadora también debe ser extraído el aire del espacio de cabeza de la lata, se utiliza para este propósito una aplicación de gas por debajo de la tapa.

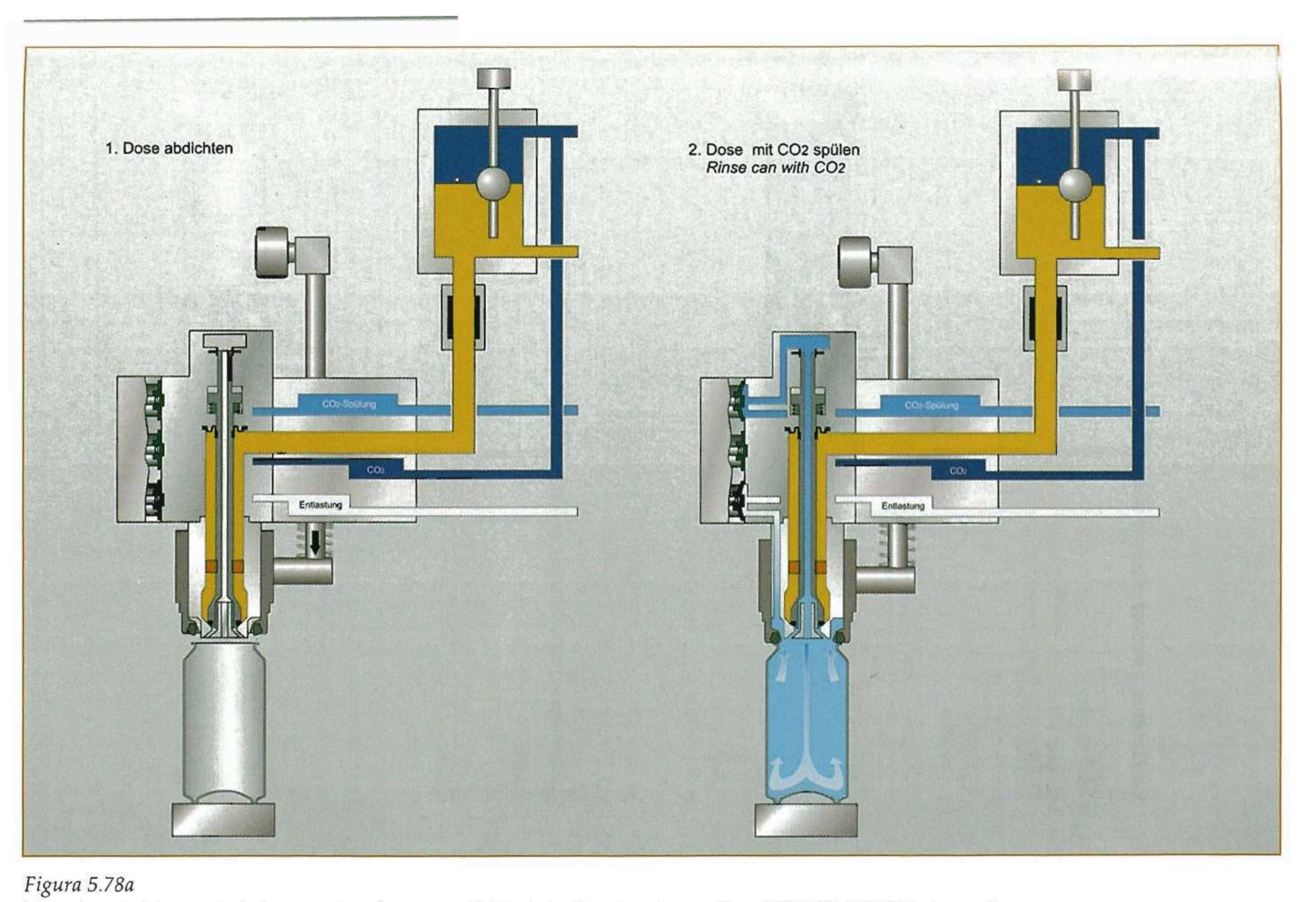


Figura 5.78a
Llenadora de latas controlada por ordenador con medición inductiva de volumen (Innofill DVD, KHS Dortmund)
Explicaciones en el texto.



1. Dose abdichten

CO_2-Spülung

CO_2

Entlastung

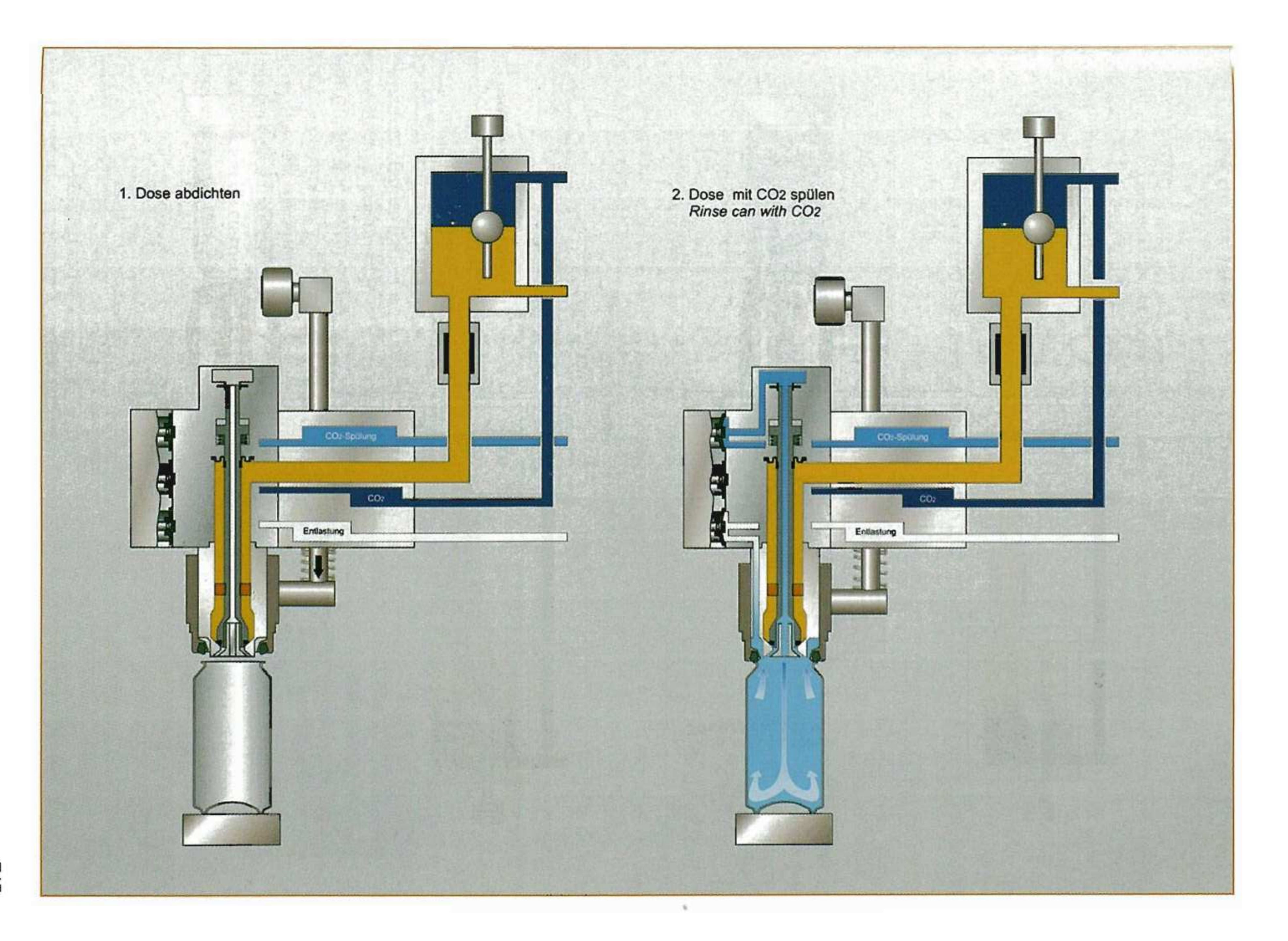
2. Dose mit CO_2 spülen

Rinse can with CO_2

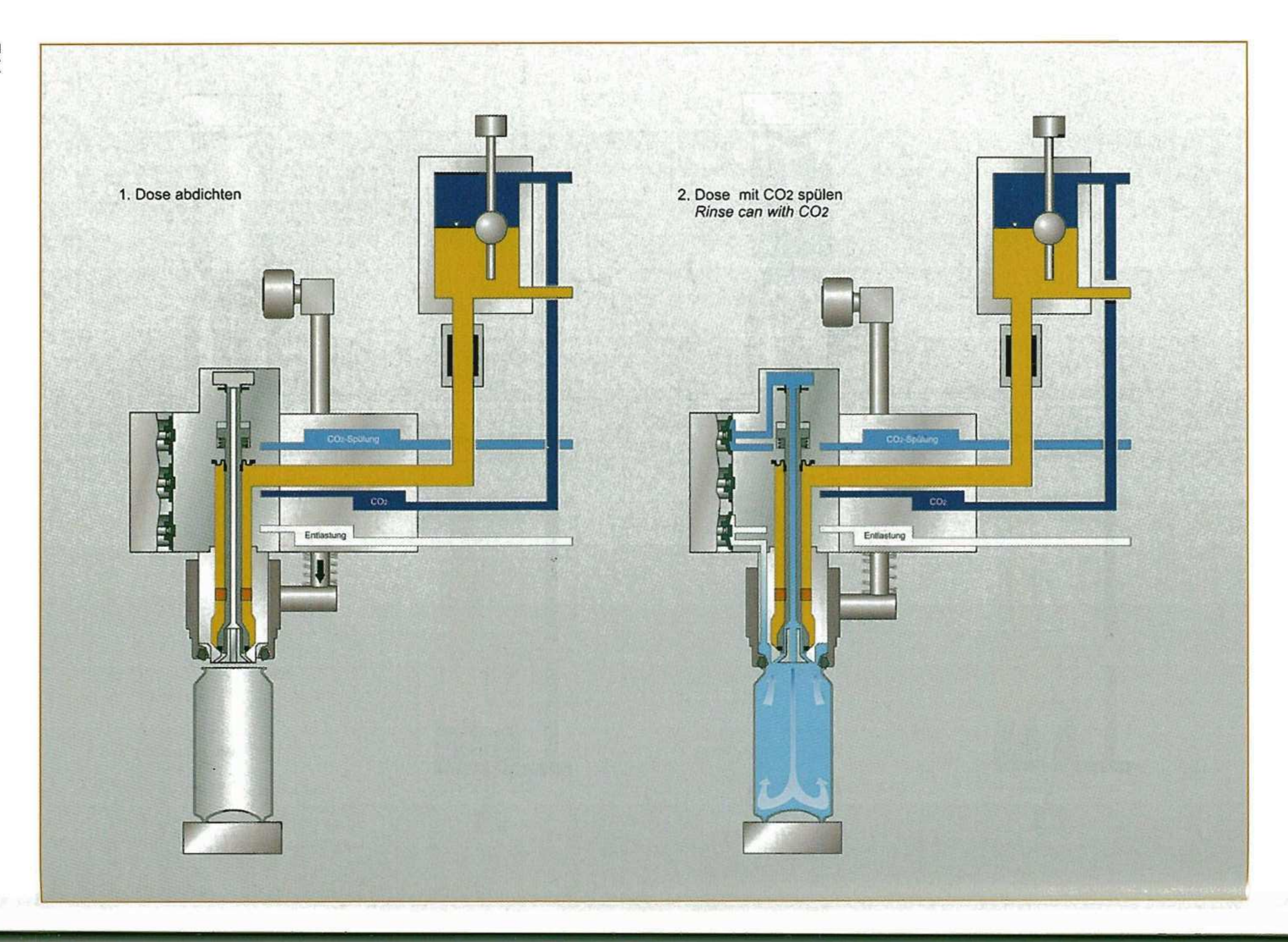
CO_2-Spülung

CO_2

Entlastung


1. Dose abdichten
CO2-Spülung
CO2
Entlastung
2. Dose mit CO2 spülen
Rinse can with CO2
CO2-Spülung
CO2
Entlastung

5



1. Dose abdichten
CO2-Spülung
CO2
Entlastung
2. Dose mit CO2 spülen
Rinse can with CO2
CO2-Spülung
CO2
Entlastung

5.5.6 Cierre de las latas

Proceso de cierre

En el cierre de las latas, la tapa colocada encima de la lata está unida por un rebordeado tan firmemente al borde de la lata que ésta es cerrada herméticamente. Esto sucede a través de dos operaciones consecutivas. La unión debe ser realizada sin pliegues o solapaduras en todo su perímetro para lograr una unión hermética y duradera entre la lata y la tapa (Figura 5.80).

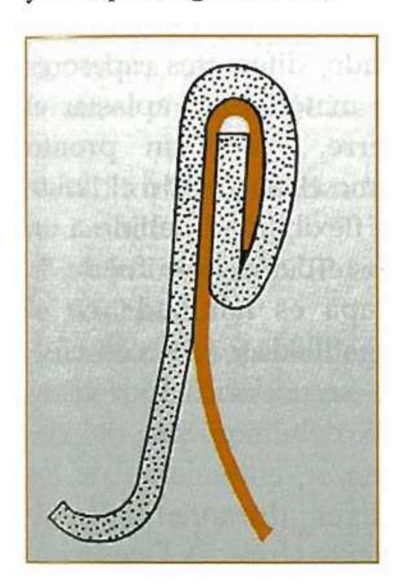


Figura 5.80
Tapa correctamente engatillada

El proceso de cierre se inicia con la colocación de la tapa sobre la lata, lo cual, en lo posible, ocurre todavía en la llenadora (Figura 5.81). La lata es elevada por un platillo de pinola que está apoyado sobre un muelle y, con la tapa colocada, es apretada contra el cabezal de cierre.

Una estación de cierre está compuesta por el cabezal de cierre y los dos rodillos de cierre. El proceso de cierre se realiza por medio dos operaciones consecutivas.

El cabezal de cierre que gira con la lata (Figura 5.82; 1) mantiene la tapa en su posición. Un rodillo de cierre que gira en sentido contrario (rodillo previo) (2) presiona contra el cabezal de cierre y dobla en esto la parte exterior de la tapa hacia abajo y alrededor de la pestaña de la lata (Figura 5.83; 1ª operación). El cabezal de cierre garantiza en esto que

- la tapa es mantenida en posición y
- la abertura de la lata y la tapa no se deformen hasta el borde.

Con una segunda operación se produce el cierre hermético entre la lata y la tapa por medio del apriete con el rodillo de cierre. Los engatillados no realizados como es debido conducen inevitablemente a una caída de presión y con ello a la pérdida de calidad.

El cierre de las latas ocurre en muy breve tiempo y presupone una precisión dimensional de todas las partes involucradas.

Es necesario controlar la ausencia de plie-

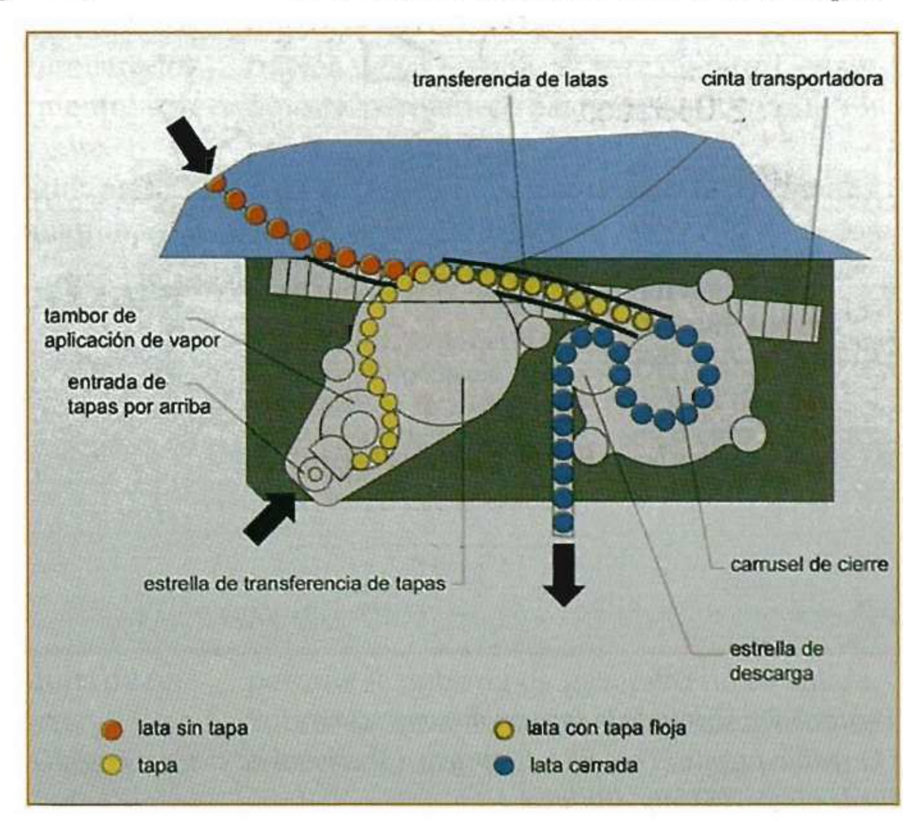


Figura 5.81
Suministro de tapas en el carrusel de la llenadora

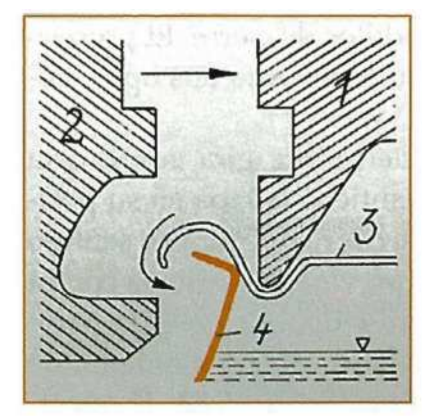


Figura 5.82
Tapa antes del apriete
(1) cabezal de cierre,
(2) rodillo de cierre,
(3) tapa,
(4) lata

gues y la solapadura del engatillado de cada estación de cierre. La aparición de pliegues cerca del gancho de la tapa dentro del engatillado es un indicador seguro de que la segunda operación ha sido realizada demasiado floja. Si esto ocurriera, se debería interrumpir el envasado y la estación debería ser reajustada. Sin embargo, no es correcto ajustar la segunda operación más bien más fuerte que demasiado floja por motivos de seguridad. Debido a su construcción, una máquina de cierre puede compensar, hasta un determinado grado, diferentes espesores de material sin aplastar el cierre. Pero, tan pronto como está agotado el límite de flexibilidad debido a un ajuste demasiado fuerte, la chapa es laminada en el engatillado y aparecen efectos secundarios (por ejemplo, debilitamiento del cierre - reventamiento de los cierres durante el tratamiento térmico). Estos fenómenos se presentan especialmente en latas de aluminio, cuyos rebordes tienen 0,02 mm más de espesor que los de las latas de acero.

Se debe prestar la mayor atención al cierre exacto de la lata, dado que únicamente el compound de la tapa debe proteger el contenido de la lata de forma duradera y sin pérdida alguna.

Luego del cierre, las latas llenas son inspeccionadas. Pero, previamente, se debe considerar todavía la limpieza de la llenadora y de la tapadora.

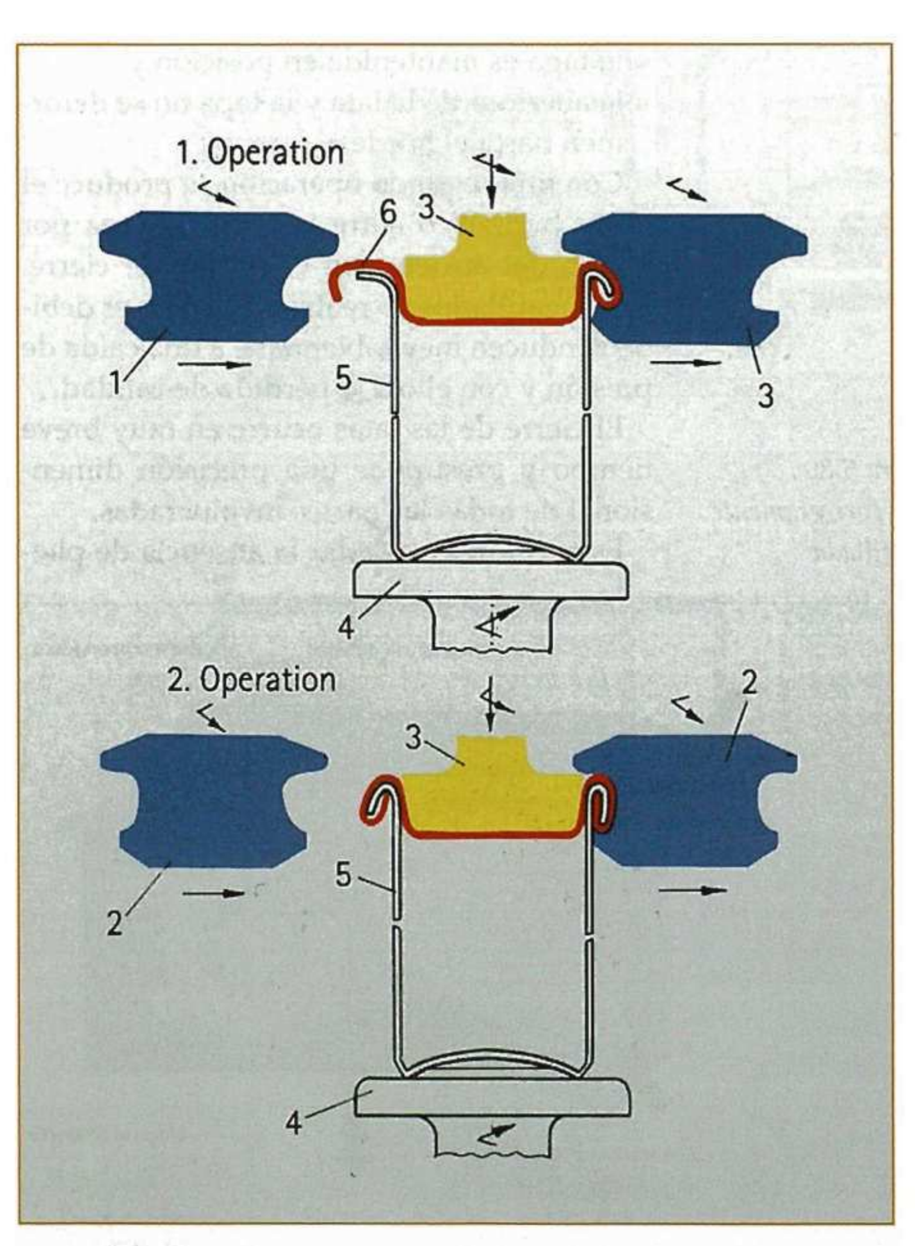


Figura 5.83: Cierre de la tapa en dos operaciones
(1) rodillo previo, (2) rodillo de apriete, (3) cabezal de cierre, (4) platillo de pinola, (5) lata, (6) tapa

5.5.7 Limpieza de la llenadora de latas y de la tapadora

La limpieza de la llenadora de latas y de la tapadora tiene una gran importancia, tal como sucede en la limpieza de botellas. En particular, si la bebida debe ser envasada luego de una pasteurización flash o luego de una filtración esterilizante en frío, son necesarias medidas de seguridad muy especiales.

Básicamente vale aquí también todo lo dicho en la Sección 5.1.6 -Limpieza de la llenadora y la tapadora. También aquí hay

- sistemas de limpieza CIP para llenadora y tapadora, un
- chorreo con agua de las partes en peligro y una
- una limpieza focalizada de la planta de envasado.

Para la limpieza CIP existen dos soluciones posibles:

- En cada válvula de llenado se coloca una cubierta para enjuague CIP. Se bombea el agente de limpieza a través de toda la válvula de llenado y posteriormente se quita la cubierta para enjuague.
- En el caso de alimentación automática, los recipientes de enjuague son suministrados automáticamente y posteriormente son retirados también automáticamente.

Aun así se debería limpiar regularmente una serie de otras partes de máquinas y equipos. Esto incluye que

- deben ser eliminadas todas las fuentes de goteo, de las cuales puedan caer gotas en latas abiertas,
- debe monitorearse de forma estricta el transporte de las latas aún abiertas para que no ingresen contaminantes a la cerveza durante ese recorrido,
- los tubos llenadores no deben ser vaciados por soplado entre la entrada y la salida de la llenadora para no rociar residuos de cerveza o espuma en los alrededores,
- en el caso de una transferencia abierta de las tapas, éstas deberían ser guiadas, entre el suministro de latas y el cierre de las mismas, a través de un esterilizador por vapor y esterilizadas individualmente con vapor,
- los cabezales de cierre deben ser enjuagados regularmente con agua caliente,
- en toda la llenadora debe realizarse como mínimo una vez por día, y mínimamente por una hora, una limpieza minuciosa (programa de esterilización de llenadora). Para ello se debería utilizar también gel o limpiador por espuma. Durante ese tiempo se limpian en particular también los rodillos para engatillado de forma minuciosa y prolongada con agua caliente.

5.5.8 Widgets (cápsulas de gas)

Los widgets son cuerpos huecos dentro de las latas, llenos de gas nitrógeno; al abrir la lata, el nitrógeno se descarga en la cerveza y otorga a ésta una espuma atractiva.

El efecto del nitrógeno es empleado ya desde hace mucho en la gastronomía, que usa una mezcla gaseosa formada por CO_2 y N_2 como gas propelente para el despacho de cerveza a presión. Esto se realiza, en primer lugar, para evitar un aumento de la concentración de CO_2 en la cerveza de barril, cuando ésta permanece bajo presión durante un tiempo más prolongado.

Esa propiedad de formación de espuma del nitrógeno se aprovecha en el caso de los widgets (Figura 5.84), que fueron introducidos en Inglaterra y que son bastante populares allí –aun a pesar del precio más elevado para latas con widgets–.

El problema consiste en lo siguiente: ¿cómo se logra introducir el nitrógeno en el widget –y cómo sale de este último–?

Para la recepción del gas nitrógeno, cada widget posee primeramente una válvula de labios con orientación hacia adentro, la cual permite la entrada de gas, pero no su salida. Sobre la cara opuesta frecuentemente se encuentra una válvula de salida de tipo similar o al menos hay aberturas finas.



Figura 5.84
Widgets

Ejemplo 1:

En la lata aún vacía, el widget es aprisionado en el fondo de ésta con la abertura de entrada hacia abajo, y la lata es llenada. Poco antes del cierre se adiciona al contenido de la lata un chorro fino de nitrógeno líquido, el cual, debido a la enorme diferencia de temperatura, recién evapora luego del cierre y aumenta entonces la presión interna en la lata (Figura 5.85).

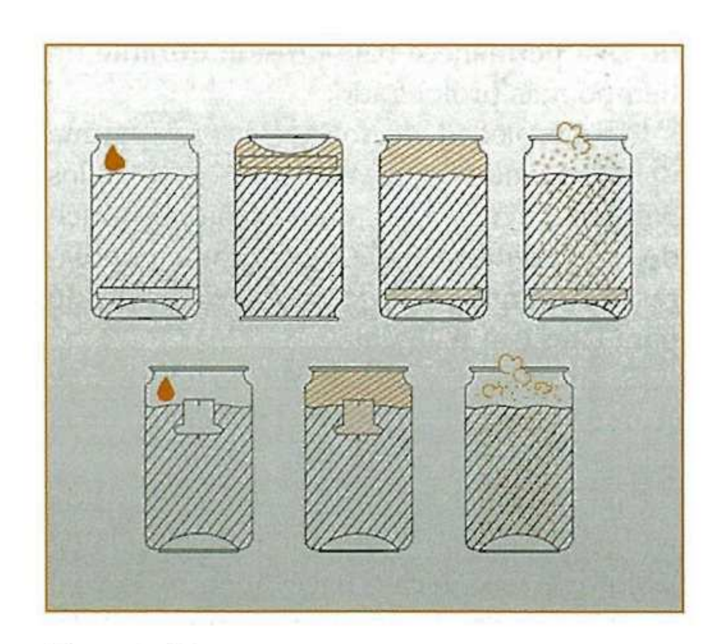


Figura 5.85
Modo de acción de los widgets
Explicaciones en el texto

Si ahora la lata es dada vuelta en 180°, la abertura de entrada del widget se encuentra arriba y el gas nitrógeno puede ingresar con sobrepresión en el widget (que se encuentra aún a presión atmosférica).

Si la lata es dada vuelta nuevamente a su posición inicial, no sucede nada, porque la presión en el interior de la lata es igual en todos lados y las pequeñas aberturas en el widget retienen el gas.

Pero, si ahora se abre la lata, la sobrepresión escapa y el nitrógeno del widget puede salir ahora sin restricciones debido a la mayor presión.

La espuma que se forma es de porosidad muy fina, pero no es muy estable. La formación depende mucho de la temperatura y es muy recomendable abrir solamente latas bien enfriadas y vaciarlas luego rápidamente –¡en caso contrario habrá problemas con el ama de casa!

Ejemplo 2:

Algunos widgets son agregados como cuerpos flotantes y la lata llena también es cerrada luego de la adición de una gota de gas nitrógeno.

Aquí, el widget se llena inmediatamente con el gas a mayor presión en la lata.

Al abrir escapa también aquí inmediatamente la presión encima del líquido, pero la válvula de labios impide el escape del gas nitrógeno hacia arriba. Por el contrario, el gas nitrógeno que se encuentra bajo presión puede escapar del widget hacia el líquido por abajo y alcanzar con ello el mismo efecto.

La difusión del widget muestra el creciente interés de los consumidores; al mismo tiempo muestra que la técnica del widget puede ser análogamente interesante para otras aplicaciones.

Pero, al mismo tiempo, también es necesario proveer a la inspeccionadora de latas vacías con un detector de objetos para widgets en el caso de latas para draught beer. Las latas vacías que no contienen un widget son separadas del resto. Con la cámara con evaluación de fotografías descripta en la inspeccionadora de latas vacías se puede realizar adicionalmente de forma sencilla la detección de objetos para el widget.

5.5.9 Inspección de las latas llenadas

Tal como en las botellas, en el caso de las latas, es también necesario controlar la lata llena y cerrada en lo que respecta a su correcto nivel de llenado.

Por lo general, esto se realiza por medio de una inspeccionadora, que trabaja sobre la base de rayos γ. Dado que se debe tener en cuenta el movimiento del líquido y la existencia de espuma, el rayo γ se orienta a un punto relativamente bajo y ofrece de esta manera un control exacto en el caso de subllenado de la lata.

En este proceso es negativo que

- se trabaje con rayos radiactivos y
- en algunas plantas no se trabaja con exactitud suficiente.

Hay aparatos más recientes que controlan altura de llenado y pérdida por medio de rayos x. Con estos aparatos se puede detectar el contenido de bebida tanto vertical como también horizontalmente y reproducir con ello un cuadro detallado de la parte superior de la lata. Con una velocidad de inspección de 2400 latas/minuto (= 144 000 latas/hora) se puede controlar con una precisión de altura de llenado de ± 0,5 mm. Aparte de ello también es posible realizar una determinación precisa del contenido neto de la lata en ml. En conjunto se determina lo siguiente en el control por rayos x:

- control preciso de altura de llenado,
- debido a la curvatura de la tapa, comprobación de sobrepresión o presión negativa,
- demasiada espuma y/o tapa incorrecta (presión negativa) = falta de hermeticidad,
- medición de densidad de espuma,
- se comprueba la falta de tapas, cierres o anillos de apertura.

Las latas no herméticas se vacían en el pasteurizador y son detectadas en el control de altura de llenado.

Por supuesto, todos los sistemas de inspección están equipados con un sistema de separación integrado. Por medio de empujadores, las latas objetadas son separadas del resto. El proceso de separación del resto es monitoreado por palpadores y bucles de retroalimentación especiales.

Las inspeccionadoras de altura de llenado también son controladas por medio de latas de ensayo, que son pesadas.

5.5.10 Pasteurizado de las latas

Las bebidas enlatadas, como cerveza o productos new edge, son pasteurizadas usualmente. Para la pasteurización de latas vale lo ya dicho para la pasteurización de botellas. Pero debe asumirse aquí que la transmisión de calor (metal, reducido espesor de pared) ocurre de forma incomparablemente mejor y más rápida que en las botellas.

En la pasteurización de las latas, la temperatura de pasteurización no debería exceder de 62°C, porque la resistencia a la presión interna de las latas sólo es de 6 bar y una

mayor temperatura conduce, en dependencia del contenido de CO_2, a una presión más alta, que fácilmente puede causar abolladuras en la tapa (latas bombeadas).

Se trata de alcanzar valores de 18 a 20 UP en la pasteurización de latas de cerveza.

En el caso de contaminación bacteriana más fuerte, se requieren hasta 30 UP.

5.5.11 Etiquetado envolvente de latas

Por lo general, las latas son impresas en lo del fabricante de las mismas en varios colores, y de forma publicitariamente muy efectiva, de acuerdo con los deseos de los envasadores. Se las produce y suministra en grandes cantidades. Este método ha encontrado buena aceptación y continuará siendo el proceso más económico para la rotulación de latas de bebidas, que son llenadas en grandes cantidades.

Aun así hay una serie de aspectos que hacen interesante el etiquetado de latas. A través del etiquetado de latas es posible:

- adaptarse inmediatamente a cambios de una variedad a otra,
- ahorrarse un almacenamiento importante en la fábrica en el caso de gran variedad de productos,
- alcanzar la más alta calidad de decoración a través de una calidad de impresión brillante y
- lograr una ventaja de costos por medio de material de latas económico y sin imprimir.

Junto con el almacenamiento reducido de latas impresas y la evitación de cantidades remanentes no usadas, se obtiene una ventaja adicional con la gran flexibilidad en el tiempo de desarrollo, que es 3 a 4 días en el caso de etiquetas nuevas, pero 6 o más semanas para latas nuevas impresas. Una ventaja adicional resulta de las múltiples posibilidades de diseño en la impresión de la etiqueta usando el proceso de impresión flexográfica, resistente a la abrasión, con colores brillantes. Las ilustraciones con fotorrealismo, los gradientes de colores, los efectos de alto brillo y otros no son un problema con este proceso. La alta flexibilidad debida a breves tiempos de desarrollo y los bajos costos aseguran un rápido acceso al mercado.

Dado que la lata es un embalaje no retornable, se la provee con

- un pegado inicial de la etiqueta sobre la lata y
- un pegado final de la etiqueta de aproximadamente 1 cm de ancho para la fijación.

Tal como ocurre con el etiquetado envolvente en las botellas, las etiquetas de polietileno (HDPE) o de polipropileno (OPP o CPP) son cortadas de la bobina de etiquetas (proceso wrap around) y aplicadas sobre la lata por la máquina etiquetadora.

La máquina etiquetadora de latas posee un dispositivo etiquetador. El dispositivo etiquetador está compuesto por (Figura 5.86):

- una unidad cortadora de etiquetas, el cutter,
- un tambor de vacío y
- un tambor encolador.

En el cutter, la etiqueta es separada de la cinta por el corte hecho por una cuchilla rotatoria. A través de una marcación en la cinta, que es registrada por un dispositivo sensor, cada etiqueta es identificada y separada por corte justo en el lugar previsto.

La etiqueta es ahora tomada por el tambor de vacío, tal como en el etiquetado envolvente de las botellas de PET. En esto, el principio y el final de la etiqueta se colocan sobre pequeñas regletas sobresalientes de material plástico especial, llamadas pads.

Desde el tambor encolador, que se encuentra en rotación, se aplica el adhesivo caliente sobre estos puntos inicial y final sobresalientes de la etiqueta. Cuando el principio de la etiqueta entra en contacto con la lata, el vacío se reduce y la etiqueta es soplada de forma suave contra la lata durante el subsi-

guiente desarrollo. Por medio de la rotación en sentido contrario de la lata, la etiqueta es desarrollada y pegada firmemente por la solapadura.

El etiquetado de latas es realizado con rendimientos de hasta 45 000 latas/hora. Por cuestiones de estabilidad se etiquetan únicamente latas llenas y cerradas.

En tiempos recientes se realiza también a veces un etiquetado de la tapa de lata por medio de una lámina de aluminio impresa de forma publicitariamente efectiva. Con esto se incluye en la publicidad la cara superior de la lata, que de lo contrario es poco interesante.

5.5.12 Fechado de las latas

Las latas deben llevar los datos prescriptos y/o de fábrica, los cuales son:

- la fecha de envasado y/o de conservación (ver también Sección 5.1.10) y
- datos de referencia internos de fábrica para el seguimiento de partidas (marcación de lotes).

Para el fechado de las latas es útil el fondo abombado hacia adentro de las latas. Dado que también el fondo de la lata se moja repetidamente debido a volteos durante el procesamiento ulterior, y que por ello se producen dificultades en la impresión, muchas plantas de envasado aprovechan el estado seco de las latas luego del desplazamiento para realizar entonces un fechado.

La forma usual de impresión ocurre por medio de la impresora de chorro de tinta (Figura 5.87). Se presiona tinta especial a través de una válvula de control (1) por una tobera cristalina especial (2) de diámetro equivalente a un cabello humano. En esto es dividida en gotas por medio de 66.000 impulsos/s, las cuales son separadas en el túnel de partida (3) subsiguiente.

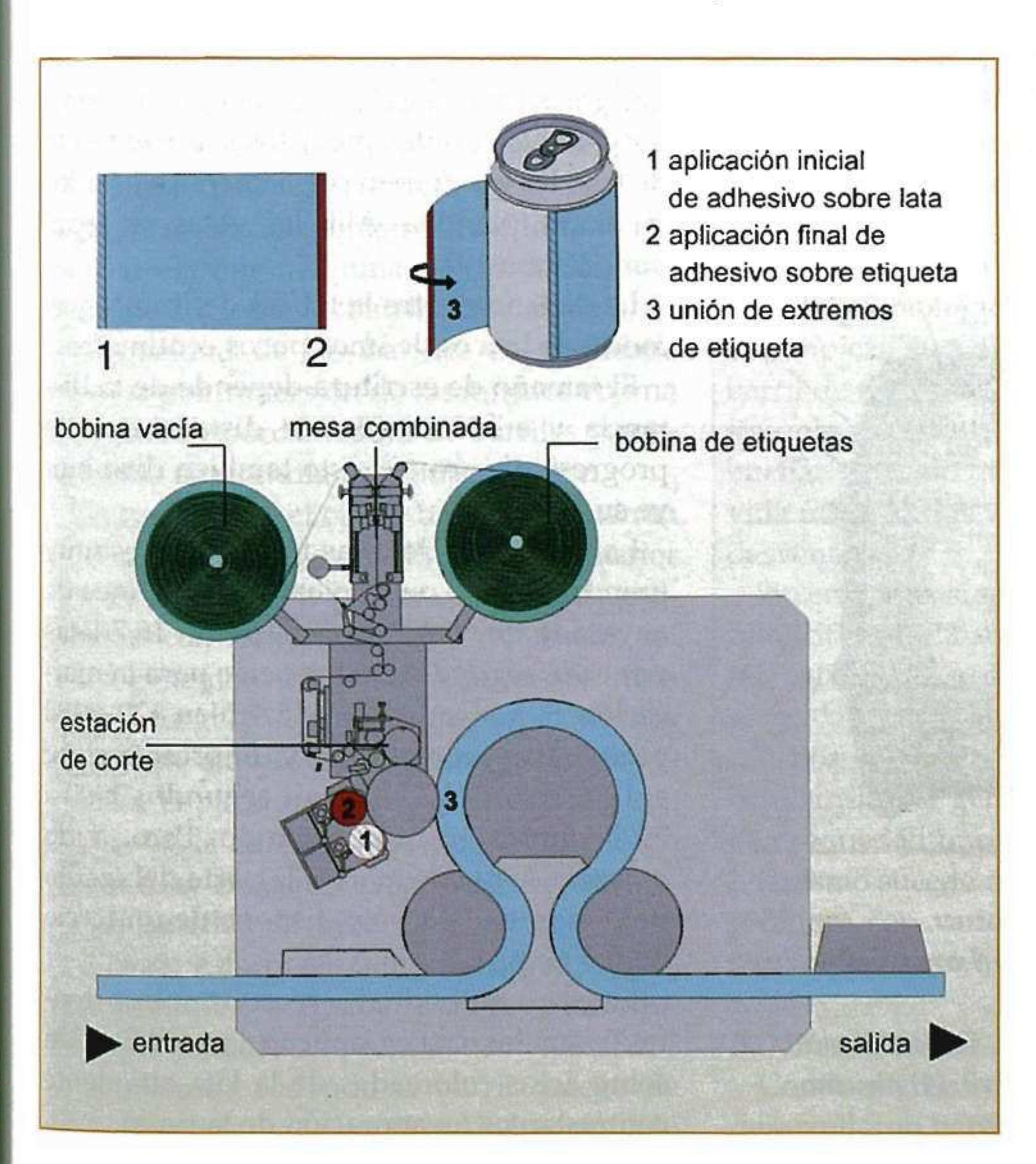


Figura 5.86
Etiquetado de latas desde la bobina

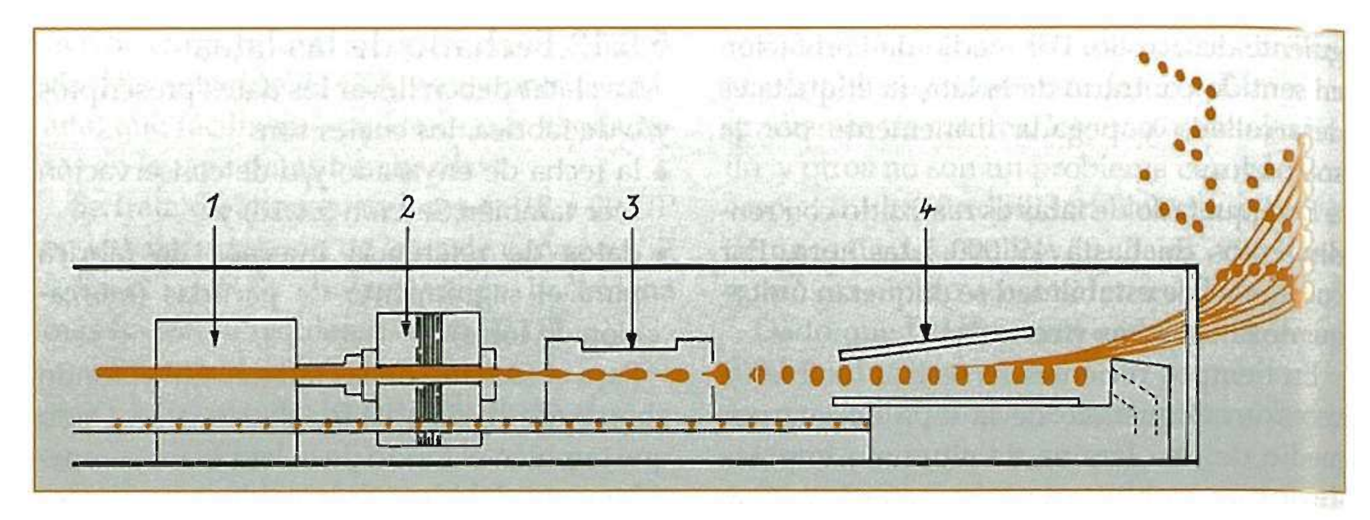


Figura 5.87
Impresora de chorro de tinta (principio de operción)
(1) válvula de control de tinta, (2) tobera cristalina especial de tinta, (3) separación de las gotas, (4) placa deflectora para la ubicación de las gotas

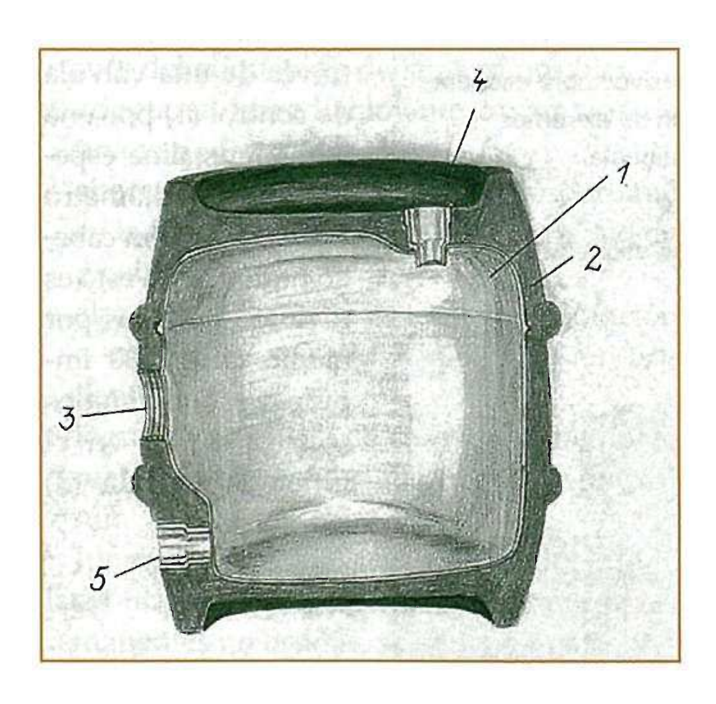


Figura 5.88
Barril de acero al cromo-níquel con revestimiento de plástico
(1) barril de acero inoxidable, (2) revestimiento de plástico de PU, (3) ojo de barril, (4) piquera, (5) piquera (picadura bávara)

Las gotas son dirigidas por una placa deflectora (4) a los puntos previstos sobre el fondo de lata, los que fueron previamente ajustados mediante plantilla. Allí, las gotas se secan inmediatamente.

La distancia entre la tobera deflectora y el fondo de lata es de unos pocos centímetros.

El tamaño de escritura depende de la distancia y aumenta con un distanciamiento progresivo, pero con esto también disminuye su claridad.

La capacidad de estas impresoras es muy grande. Con un rendimiento de una línea de envasado de 60.000 latas/h, pasan 16,7 latas por cada segundo sin detenerse para la marcación. Si por cada lata se calculan 120 a 150 puntos para la escritura, la impresora debe aplicar (para 16,7 latas por segundo) 2000 a 2500 puntos en cada segundo. Pero, dado que sólo se puede marcar la parte del medio del fondo de lata, sólo dispone de un tercio de ese tiempo.

En casos individuales se utilizan impresoras láser, las cuales aplican la codificación sobre áreas coloreadas de la lata altamente contrastantes (evaporación de la tinta).

5.5 Envasado en barriles, kegs, barriles para fiestas y latas grandes

5.5.1 Barriles de madera y envasado en barriles

Los barriles de madera han determinado durante siglos el transporte de cerveza. El barril clásico de madera está fabricado de madera de roble y está compuesto por duelas, el fondo anterior, el fondo posterior y los flejes de barril. Las duelas están dobladas para posibilitar una colocación forzada de los flejes de barril. Esto era necesario, porque las duelas del barril vacío se desecaban progresivamente y esto requería una nueva colocación forzada. Esto era efectuado antaño con mucho esfuerzo de trabajo por barrileros (también llamados "Schwager" en la jerga cervecera alemana) en la bodega de barriles con martillos especiales (ver para ello Figura 0.8). Las fábricas de cerveza de mayor tamaño disponían para ello también de una enorme máquina de colocación forzada de los ejes de barril. Previamente, la estanqueidad de los barriles se verificaba todavía por inmersión de los mismos en una máquina inspeccionadora de barriles y controlando si ascendían burbujas de aire.

En los barriles, el ojo de barril se encuentra en el medio de una duela. En el fondo anterior está el manguito de piquera, la placa de calibración con la indicación de capacidad, así como el nombre de la fábrica de cerveza marcado a fuego y el número de barril. Muchos barriles de madera poseen todavía otra piquera más, la picadura bávara (Figura 5.88), con ayuda de la cual el barril puede ser picado mientras se encuentra en posición vertical.

Los barriles de madera están revestidos con brea; esta brea, compuesta por colofonia, parafina y aceite de resina, era introducida por rociado a aproximadamente 180°C y distribuida rodando el barril. Luego de cada limpieza, cada barril era inspeccionado respecto de su estado y, en caso de necesidad, se decidía realizarle un nuevo embreado. Esto era un trabajo que requería mucho esfuerzo (ver Figura 0.8).

Los barriles de madera tienen un espesor de pared de más de 3 cm para soportar la presión interna y el transporte. Pero esto significa también que ya el barril de transporte vacío representa una masa importante que debe ser transportada siempre como embalaje de la cerveza. Así, un barril vacío de madera para

30 l de contenido pesa 25 kg
50 l de contenido pesa 32 kg.

Estos números muestran también que la elevada porción de embalaje no es justificable en una logística moderna. Aun con mucha práctica, el envasado en barriles requiere un gran esfuerzo corporal. Pero es particularmente negativo que los procedimientos sean difícilmente automatizables en la limpieza y llenado de barriles.

Esta pequeña descripción muestra los problemas y el gran esfuerzo de trabajo asociado al envasado en barriles, y permite intuir los riesgos biológicos (temperatura máxima de limpieza 40 a 45°C). Por supuesto que el barril de madera tiene también ventajas, por ejemplo, su gran estabilidad de forma, su buena aislación térmica y su prolongada vida útil. Pero las ventajas no compensan las desventajas.

Sin embargo, si se lo utiliza para propósitos publicitarios, el barril de madera cumple aún hoy totalmente su objetivo: Si por la ciudad se pasea un carro cervecero tirado por diez caballos, completamente cargado y adornado con barriles, la gente siente inmediatamente una sequedad impresionante en la garganta. Lo mismo sucede cuando el alcalde realiza la picadura con varios golpes en un barril de madera para cerveza tipo Bock.

Barriles de metal

Como alternativa al barril de madera se desarrollaron barriles de metal, con los cua-

les se pudo eliminar una serie de desventajas de los barriles de madera.

Los barriles de metal son fabricados con formas abombada y cilíndrica. Los barriles abombados están provistos frecuentemente de dos aros de goma para poder rodarlos mejor.

Los barriles de metal son fabricados en aluminio o acero al cromo-níquel. Para mejorar la resistencia a la corrosión, los barriles de aluminio son revestidos interiormente con un barniz o son sometidos a una pasivación. Los barriles de aluminio no revestidos sólo son utilizables aproximadamente durante 5 a 7 años.

Los barriles cilíndricos de metal son fabricados con acero al cromo-níquel y están provistos de dos polleras de apoyo. La reducida rigidez contra abolladuras y la falta de automatización en el envasado son desventajosas aquí. Están poco difundidos.

A cada barril le corresponde un tornillo de contrapresión, que es atornillado en el ojo de barril luego del llenado del barril y que cierra a este último. Para ello, el tornillo de contrapresión y un trapo sellante de contrapresión deben ser limpiados y desinfectados minuciosamente, y las manos deben estar limpias cuando se los atornilla en el ojo de barril. Es claro que, bajo estas circunstancias, se puede hablar a lo sumo de un envasado pobre en gérmenes.

Procesos de envasado en barriles

Independientemente de los "tratamientos especiales" descriptos, cada barril pasa por

- la máquina lavadora de barriles y
- la llenadora de barriles.

En la máquina lavadora de barriles, éstos son transportados de estación en estación por una "corredera oscilante" y en esto

- son remojados y cepillados exteriormente por rotación,
- enjuagados por abajo por rociado con agua caliente y
- luego son enjuagados por rociado con agua fría y controlados.

Las máquinas lavadoras para barriles de metal resistentes a la corrosión permiten también rociados con lejía a 90 a 95°C y enjuague con ácido a 60 a 70°C.

En el envasado en barriles, el barril debe ser posicionado manualmente debajo del dispositivo de llenado. Luego, el dispositivo de llenado es descendido manualmente sobre el barril y éste es llenado en dos etapas:

- contrapresionando primeramente el barril con aire comprimido o con CO_2, y,
- luego de alcanzado el equilibrio de presión, realizando la entrada de la bebida según el principio isobarométrico.

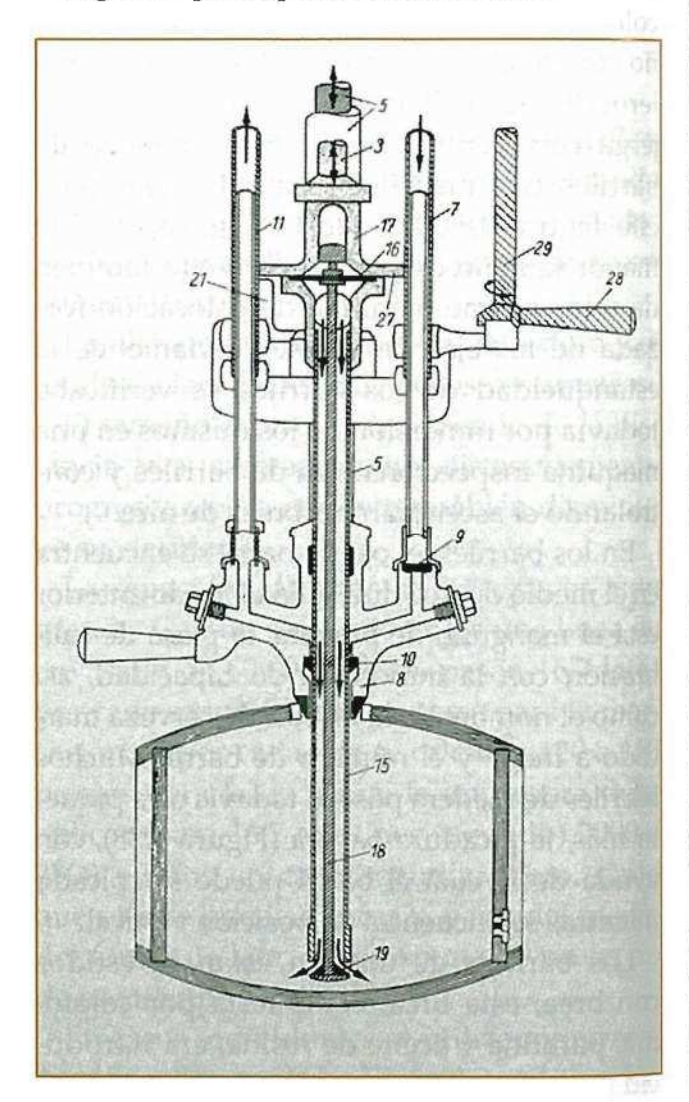


Figura 5.89
Dispositivo de llenado de barriles

El dispositivo de llenado de barriles es de diseño relativamente complicado y la variedad constructiva es muy amplia. Aun así, en todos los casos se realizan los mismos pasos de trabajo (Figura 5.89):

- El dispositivo de llenado es apretado con el cono de apriete (8) sobre el ojo del barril y lo hace estanco con respecto al exterior.
- Luego, el tubo de cerveza (15) es llevado a la posición más baja por giro de la palanca de control (28). Al mismo tiempo se abre la válvula de gas previo, que establece la contrapresión en el interior del barril con aire comprimido o con CO_2 en cuestión de segundos. Posteriormente se abre la válvula de pie (19), la cual hasta ahora fue mantenida en la posición superior por un trinquete, y la cerveza puede fluir al barril y llenarlo.
- El aire que se encuentra en el barril escapa por el tubo de gas de retorno (11). El estado de que el barril se está terminando de llenar se muestra por la presencia de espuma en la mirilla del tubo de gas de retorno. El barril está lleno cuando aparece cerveza en la mirilla.
- Si la palanca de control es girada ahora en sentido contrario, un mecanismo complicado cierra la tubería de cerveza y aire comprimido, y eleva el dispositivo de llenado. El barril puede ser taponado ahora. La cerveza que se encuentra en la tubería de gas de retorno es desplazada en el proceso de llenado siguiente a un pote de espuma.

Estos equipos llenadores de barriles se construyeron durante muchos años

- como llenadoras con calderín y, más tarde,
- como equipos llenadores sin calderín.

En particular, la gran absorción de oxígeno durante el proceso de llenado es una desventaja en esta forma de envasado, aparte del gran esfuerzo de trabajo y otras desventajas.

Hemos visto que hay toda una serie de motivos para dejar de lado el envasado en barriles.

Sin embargo, la forma tradicional de barril no desaparecerá y se mantendrá para determinados propósitos. Para el consumidor, ver un barril de madera está relacionado con tradición, naturalidad e identidad regional. Es por ello entendible que algunas fábricas de cerveza utilicen, en lugar de los viejos barriles de madera, barriles de plástico diseñados de igual forma que aquellos y con parte interna de acero al cromo-níquel, los cuales naturalmente se dejan limpiar bien. También es posible automatizar ampliamente todo el procesamiento de estos barriles, desde la recepción de los envases vacíos hasta el paletizado de los barriles llenos [280].

5.6.2 Kegs y grifos

Desde hace casi medio siglo, los kegs desplazan los barriles de madera (en inglés casks). El manipuleo de los barriles era muy problemático:

- los barriles de madera eran pesados y sólo podían ser movidos rodándolos,
- una limpieza minuciosa sólo era posible en parte,
- requerían ser controlados permanentemente en lo que respecta a la capa de brea y la estanqueidad,
- debían ser debreados y embreados regularmente, y
- no era posible una automatización del tratamiento y del llenado.

Si bien algunos de estos problemas mejoraron con la introducción de barriles de aluminio y posteriormente de barriles de acero al cromo-níquel, que hacían prescindible un revestimiento de brea, recién se pudo lograr un cambio por principio y en particular una automatización de los procesos con la introducción de los kegs.

Los kegs son barriles cilíndricos de metal con una parte interna sellada herméticamente, que son limpiados, llenados y vaciados a través de un grifo (Figura 5.90). El grifo está conectado a un tubo ascendente, que llega

hasta el fondo del keg y que posibilita con ello el llenado y el vaciado de este último. El keg siempre está bajo presión; por ello, la pérdida de presión es un indicador importante respecto de una fuga o de una manipulación en el keg.

5

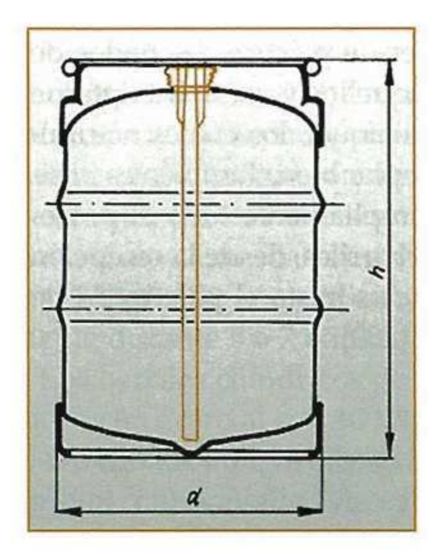


Figura 5.90
Keg

5.6.2.1 Material, forma y tamaño de los kegs

El material para la fabricación de kegs debe cumplir las siguientes condiciones:

- no debe afectar el sabor de la cerveza,
- debe ser robusto y no debe deformarse con facilidad,
- debe ser resistente a la presión y
- debe ser fácil de conformar,
- la masa debe ser lo más reducida posible y
- el precio debe ser apropiado.

Hoy en día se utilizan casi solamente aceros al cromo-níquel.

Kegs de aluminio

Los kegs de aluminio se fabricaban con espesores de pared de 2,5 a 3,0 mm y se los proveía de un revestimiento interior para prevenir una corrosión que inutilizaba los kegs al cabo de pocos años. Como revestimiento interior se utilizan lacas de resina sintética o recubrimiento de resinas epoxi. También es posible recubrir el lado interno con una capa anodizada.

Kegs de acero al cromo-níquel

Como materiales se emplean generalmente aceros al cromo-níquel, por ejemplo de las calidades 1.4301 ó 1.4306 según DIN 17 007 con un espesor de pared de 1,3 a 2,0 mm y, en el caso de kegs revestidos, con un espesor de pared de 1,0 a 1,5 mm.

Los revestimientos del cuerpo metálico (kegs combinados) están hechos de poliuretano. De esta manera, el keg es más robusto y se reduce un poco el nivel de ruido durante el manipuleo; además se puede utilizar mejor la superficie para propósitos publicitarios y se logra una mejor aislación térmica.

Tamaños y masas

La capacidad de los kegs varía. En Europa son usuales kegs de 50 l y de 30 l, pero también se utilizan otros tamaños.

La masa de los kegs es aproximadamente:

	Aluminio	Acero inoxidable	Acero inoxidable revestido
keg de 30 l	6 a 7 kg	8 a 12 kg	9 a 11 kg
keg de 50 l	8 a 9 kg	10 a 15 kg	13 a 14 kg

Fabricación de los kegs

Los kegs son fabricados por laminación o por embutido y estirado.

En el caso del keg (de tres piezas) laminado, el cilindro es curvado a partir de una chapa y unido con una costura de soldadura. Los dos fondos embutidos y estirados son soldados al cilindro, de manera que hay tres costuras de soldadura.

Los kegs (de dos piezas) embutidos y estirados son fabricados a partir de dos semicápsulas embutidas y estiradas, las cuales son unidas posteriormente con una costura de soldadura. De esta manera resulta un menor riesgo de corrosión, dado que en

especial las costuras de soldadura ofrecen puntos de inicio para erosiones. Con ello es también mayor la resistencia mecánica en el caso del barril embutido y estirado.

5.6.2.2 Grifos de kegs

Cada keg posee un manguito en el fondo superior, en el cual se enrosca el grifo del keg. El grifo del keg consiste en una carcasa de válvula con rosca externa y el tubo de ascenso empalmado. La carcasa de válvula contiene las válvulas de bebida y de gas de contrapresión. El cabezal dispensador empalma con la carcasa de válvula. Este grifo de keg es conformado como:

- grifo de acople bayoneta,
- grifo de acople hueco

o

- grifo combinado.

Válvula de acople plano o grifo de acople bayoneta (Figura 5.91)

El grifo de acople bayoneta tiene una superficie plana y posee una válvula de doble función como válvula de cerveza y de gas de contrapresión. El grifo de acople bayoneta está compuesto sólo de unas pocas piezas y, de este modo, es más barato y más fácil de mantener.

Válvula de cuerpo hueco o grifo de acople hueco (Figura 5.92)

El grifo de acople hueco posee sendas válvulas para la cerveza y el gas de contrapresión, que operan de forma separada entre sí. La robustez del grifo y su reducida masa son ventajosas. Ambos sistemas han demostrado su eficacia en la práctica.

Grifo combinado (Figura 5.93)

El grifo combinado no es un sistema nuevo, sino que combina el sistema de dos válvulas del grifo de acople hueco con el grifo de acople bayoneta y posibilita la manipulación sencilla de éste.

Tubo de ascenso

El tubo de ascenso es un tubo liso sin estrechamientos e insertos; desemboca justo por encima del fondo inferior del keg, que es el punto más profundo en ese lugar, y de esta manera posibilita un vaciado del keg con la menor cantidad de residuo posible. Por otro lado, el tubo de ascenso posibilita un chorreado de las partes inferiores periféricas de la superficie del keg durante la limpieza.

Cabezal dispensador

A través del cabezal dispensador se realiza la conexión entre el grifo de barril y el equipo dispensador. El cabezal dispensador, que es fácil de operar, posee conexiones de manguera para el transporte de la cerveza y el suministro de gas de contrapresión, y a través suyo son operadas las válvulas cónicas.

5.6.3 Limpieza y llenado de los kegs

Debido a su normalización y al transporte en posición vertical es posible automatizar la limpieza y el llenado de los kegs. De acuerdo con el tamaño de la fábrica y la porción de productos en barril, se construyen equipos de diferentes tamaños.

En el caso de plantas muy pequeñas, sólo la limpieza y el llenado propiamente dicho son realizados a máquina. Todas los demás pasos del proceso deben ser realizados de forma manual.

Las plantas de mayor tamaño y las plantas grandes ejecutan automáticamente todos los pasos de proceso del siguiente modo, en una o varias líneas:

Despaletizado

Los kegs son colocados por el despaletizador sobre la cinta transportadora (cinta transportadora plana de charnelas o transportador por pista de rodillos) y transportados al dispositivo de volteo.

5

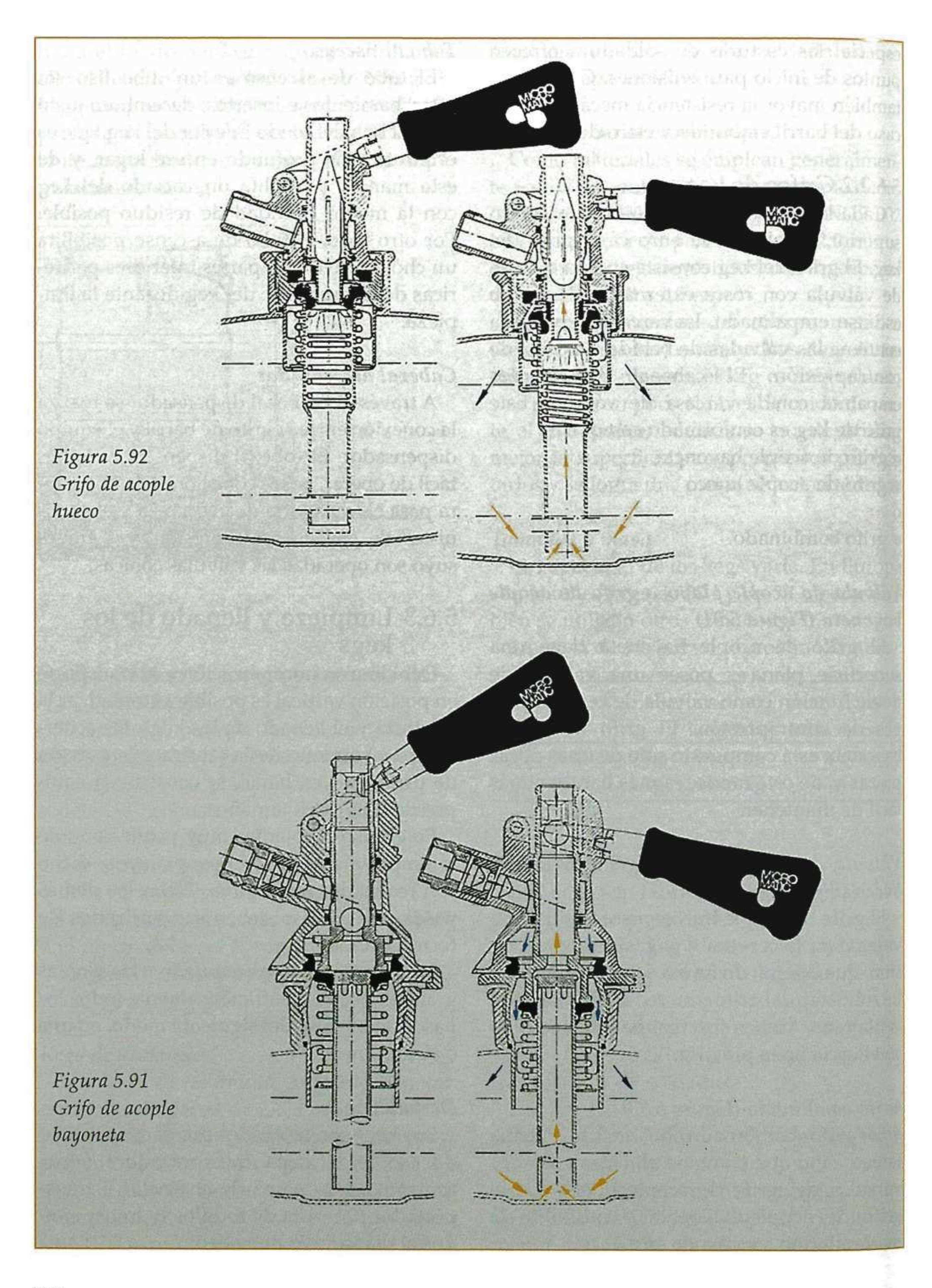


Figura 5.92
Grifo de acople hueco

Figura 5.91
Grifo de acople bayoneta

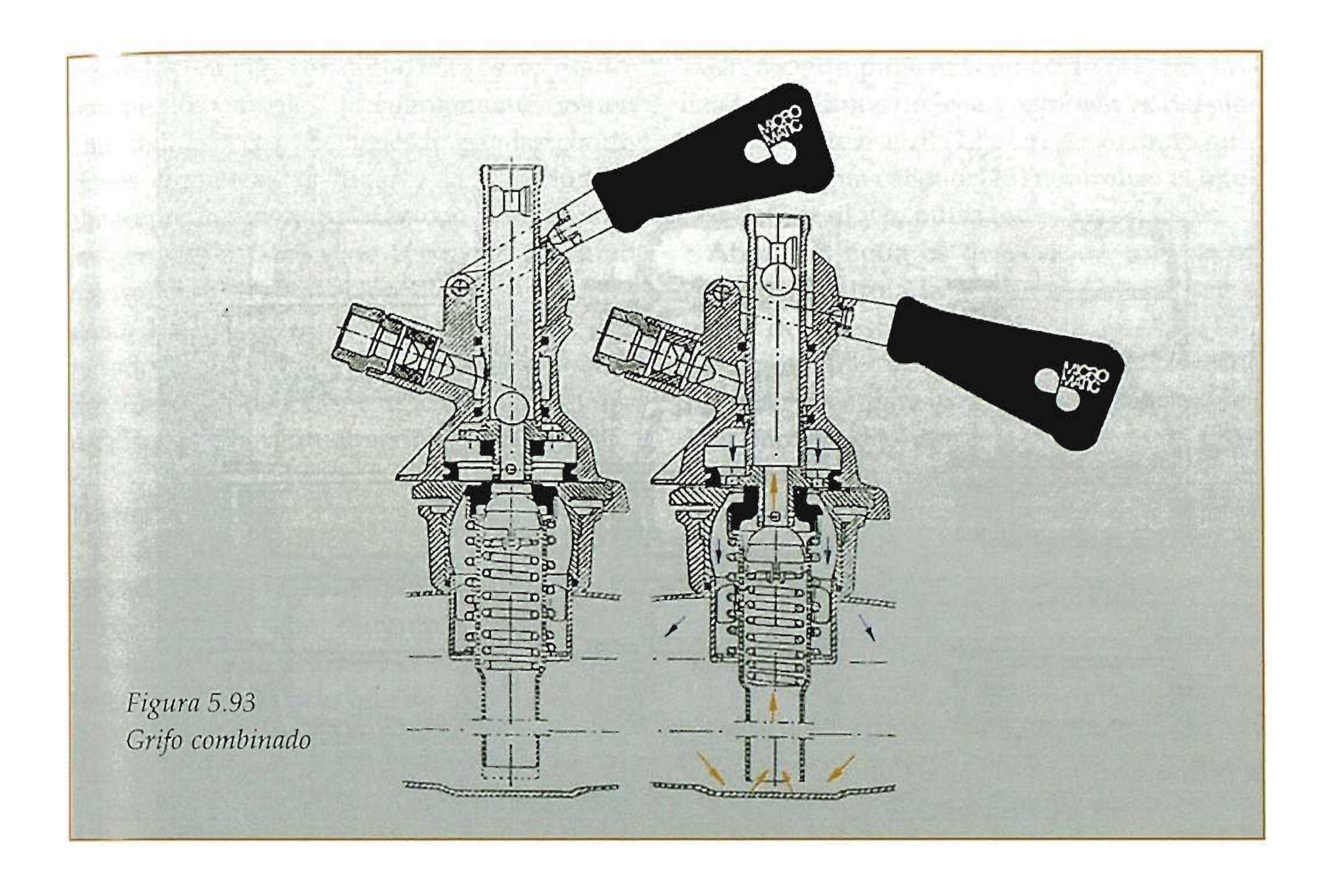


Figura 5.93
Grifo combinado

Volteo

Para el procesado subsiguiente, el keg debe ser volteado para quedar con el grifo hacia abajo. Para ello el keg es tomado con pinzas y girado.

Descapsulado

Es posible y frecuentemente usual que se haya colocado nuevamente sobre el grifo una cubierta protectora de polietileno con el objeto de prevenir ensuciamientos. La cubierta debe ser quitada antes del volteo, dado que, si no, no es posible realizar una conexión con el grifo y con ello al interior del barril.

Verificación de la presión

El keg mantiene la presión interna que tiene al final del dispensado. Dado que existe una caída de presión de adentro hacia afuera, no puede ingresar nada al barril. Es por eso que se debe controlar la presión interna antes del inicio de la limpieza del barril. Si la presión interna ha bajado mucho o ya no hay presión interna, entonces

- el keg no es hermético,
- el grifo está defectuoso o
- el keg ha sido manipulado por personas no autorizadas.

En todos los casos deben investigarse las causas.

Luego de esta verificación de presión, se desplaza, por medio de aire comprimido, la cerveza restante y el CO_2 aún contenido (vaciado residual).

5.6.3.1 Limpieza de los kegs

Limpieza externa

Antes de comenzar con la limpieza interior, los kegs son remojados generalmente por fuera con agua y lejía, se los limpia en calien-

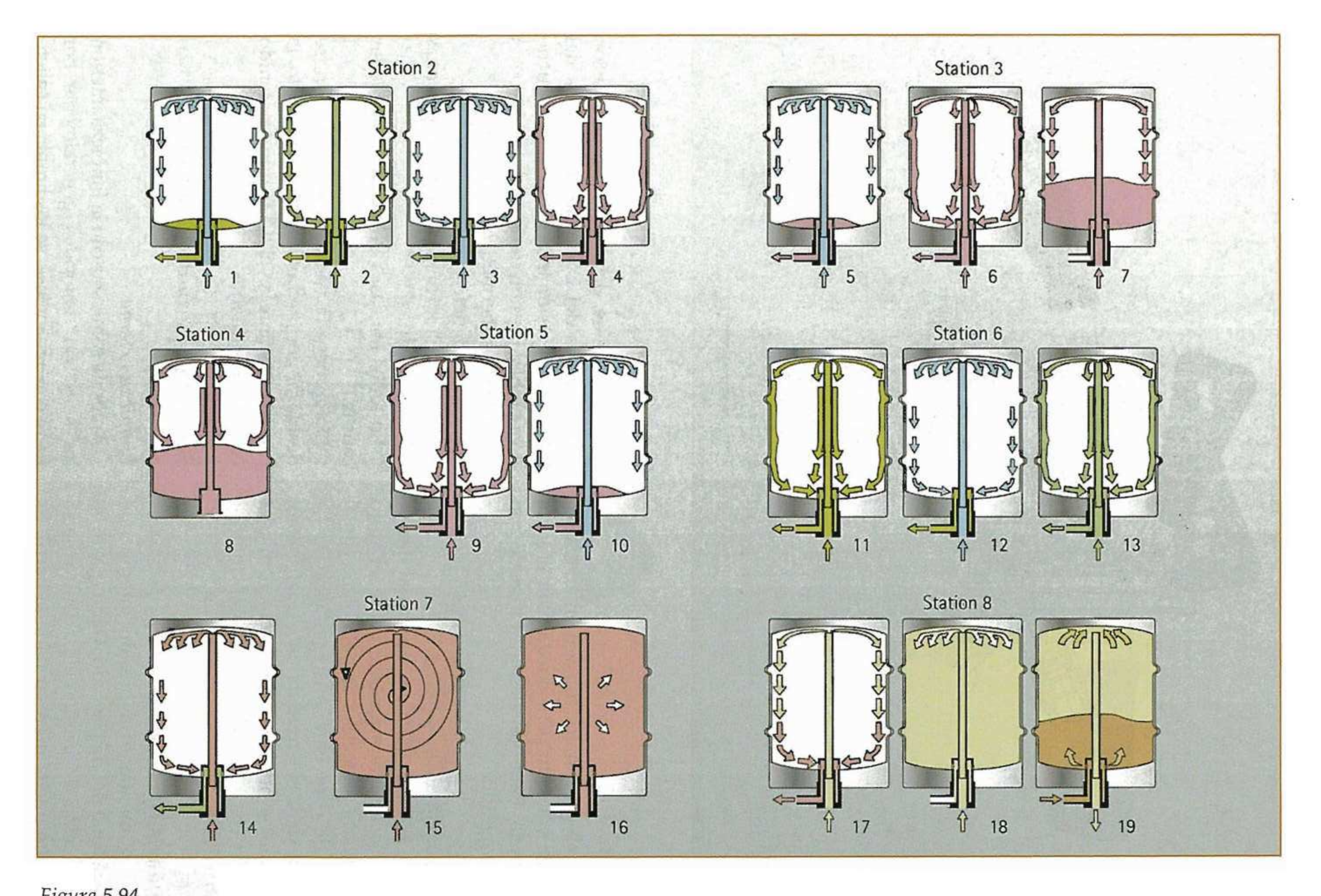


Figura 5.94
Estaciones de tratamiento en la limpieza, esterilización y llenado de kegs (Empresa KHS, Dortmund)

y se los enjuaga con agua. Esto es necesario, porque los barriles frecuentemente tienen muy mal aspecto –de acuerdo con las condiciones climáticas, el lugar y la duración de almacenamiento– y pueden con ello dañar la imagen de la fábrica de cerveza, si entran nuevamente en circulación –llenos– en estado sucio. La limpieza exterior es apoyada por rociados a alta presión y/o por cepillos rotatorios. También deben ser quitadas etiquetas y codificaciones eventualmente aún existentes.

Limpieza interna

La limpieza interna es naturalmente el procedimiento más importante, especialmente si no se sabe durante cuánto tiempo y a qué temperaturas ha estado el barril parado por ahí. Dado que no se puede mirar u oler el interior del barril, debe asumirse que en el residuo de cerveza del keg se ha desarrollado una microflora fecunda, que debe ser eliminada ahora completamente. Esto ocurre ahora en varias estaciones de limpieza y esterilización, cuya envergadura varía entre las diferentes máquinas.

Luego de la colocación sobre la estación de centrado se comprueba primeramente (1) la presión remanente, se vacían los residuos y se desplaza el CO_2.

En la siguiente estación (2) ocurre un rociado pulsante con agua y, en la estación (3), la extracción de los residuos de agua por medio de soplado con aire estéril. Sigue luego (4) un rociado pulsante con lejía 1 para la pared y el tubo de ascenso. Posteriormente (5), la lejía 1 es extraída nuevamente por soplado con aire estéril y se introduce (6) un rociado pulsante de lejía 2 para la pared y el tubo de ascenso.

Luego, el keg es llenado con lejía 2 (7) y se la deja actuar (8).

Se drena posteriormente la lejía 2 y se realiza un nuevo rociado pulsante para pared y tubo de ascenso (9), el cual finaliza con la extracción de la lejía por soplado con aire estéril (10).

Un rociado pulsante con ácido (11) neutraliza los residuos de lejía y también es desplazado con aire estéril (12). Un posrociado pulsante con agua caliente (13) neutraliza el interior del barril y expulsa todos los residuos.

Ahora, el agua es desplazada con vapor (14) y se controla la hermeticidad del keg a través de un establecimiento de presión (15). El vaporizado por medio de vapor estéril sirve también para establecer una contrapresión parcial (16). Luego se extraen por soplado con CO_2 los residuos de vapor (17), se establece con CO_2 una contrapresión en el keg a la presión final (18) y, finalmente, el keg es llenado (19).

5.6.3.2 Llenado de los kegs

El llenado de los kegs ocurre en una estación de llenado. Para ello, primeramente,

- se establece con CO_2 una contrapresión a la presión final deseada y luego
- se envasa la cerveza con fases lentas de llenado inicial y final, así como una fase rápida de llenado principal.

Durante la fase de llenado previo, el suministro de cerveza ocurre de forma relativamente lenta para evitar un espumado y mantener la absorción de oxígeno tan baja como sea posible. La absorción de oxígeno no debe ser mayor que 0,1 mg por litro.

En la fase de llenado rápido se aumenta la diferencia de presión y la corriente de cerveza ingresa de forma rápida. Tan pronto como la cerveza sale por el tubo de ascenso, finaliza el proceso de llenado.

También es posible equipar la estación de llenado con un dispositivo de llenado volumétrico calibrable.

Al final, el cabezal llenador es limpiado a soplos y enjuagado, y el keg es empujado hacia afuera.

Control de nivel de llenado

Por supuesto que se debe evitar que salgan de la fábrica de cerveza kegs que no

estén llenados como es debido. Para ello es necesario un subsiguiente control de nivel de llenado, el cual es problemático dado que los kegs no son transparentes.

Es posible pesar los kegs, pero ello sólo tiene sentido si todos los kegs tienen exactamente la misma masa en vacío. El pesaje de los barriles llenos es usual en una serie de fábricas de cerveza y ahorra el poscalibrado permanente del volumen. Lo mismo vale también para el llenado volumétrico por medio del caudalímetro magneto-inductivo.

Son usuales los controles de altura de llenado con rayos γ. Pero, según las disposiciones de seguridad de cada país, requieren la presencia de un encargado de protección contra radiaciones o de otro especialista.

Para el uso en pequeñas fábricas de cerveza rige lo siguiente:

- si sale cerveza por el tubo dispensador, el keg tiene que estar lleno;
- si el fondo superior está sensiblemente frío, salvo el círculo interior, el keg está lleno.

Volteo

La última estación antes del paletizador es el volteador, por medio del cual el keg es girado en 180° para quedar nuevamente con el grifo hacia arriba.

Encapsulado

En la mayoría de los países se equipa el grifo del keg con una cápsula que protege el cierre mecánica e higiénicamente. Esta cápsula sirve para asegurar el contenido y para la marcación del lote con una marcación en colores respecto del contenido, la compañía, la fecha de envasado y otras indicaciones.

5.6.4 Instalaciones completas para kegs

Los kegs son transportados cíclicamente de estación en estación y tratados allí. El tratamiento de los kegs ocurre

- en máquinas rotatorias o
- en máquinas de pasaje derecho (lineal).

Ambos tipos de máquina son usuales y utilizados hoy en día.

Las instalaciones lineales de limpieza y llenado de barriles son dimensionadas generalmente para rendimientos de hasta 300 kegs/h; las plantas envasadoras de barriles de mayor tamaño, de hasta aproximadamente 1000 kegs/h, operan por lo general como máquinas de tipo rotatorio (con una a tres rotaciones). Pero no debe dejar de mencionarse que hay también equipos muy pequeños con sólo un cabezal para kegs, para plantas envasadoras muy pequeñas.

Pero la instalación completa para kegs debe incluir también sendos pre y postratamientos, y un control minucioso para garantizar que sólo salgan de planta kegs llenados correctamente y limpios.

5.6.5 Llenado de barriles pequeños y barriles para fiesta

En muchos países hay también en uso barriles pequeños especiales. Por esto se entiende generalmente contenedores pequeños con contenidos entre 10 y 15 litros, los cuales son prestados, provistos de grifos fáciles de manipular, por las fábricas de cerveza u otros establecimientos de bebidas y están previstos para el suministro de productos en barril para el círculo hogareño.

Como ejemplo típico de un barril pequeño se presenta aquí el barrilete tipo "Keggy" (Figura 5.95), con una capacidad de barril de 12 litros. Tiene incorporado, aparte del barril de cerveza de acero inoxidable, un tanque de CO_2 con reguladora de presión integrada. Una envoltura externa rectangular protege al Keggy contra colisiones, golpes y calentamiento, y de esta manera permite transportarlo fácilmente. Por medio de un grifo de fácil montaje, el dispensado hogareño se convierte también para el aficionado en un placer limpio, porque se prescinde de

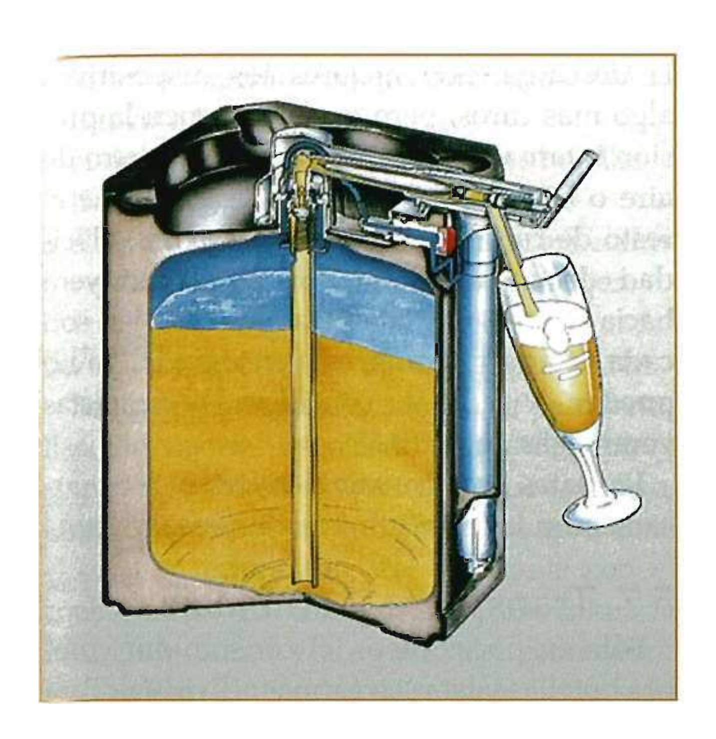


Figura 5.95
Barrilete tipo "Keggy"
(Keggy drink system GmbH, Neunkirchen, Siegerland)

todos los trabajos complementarios (picar, ajustar gas de presión, etc.). Unos accesorios especiales de seguridad se encargan de una seguridad óptima para el cliente.

La limpieza y el llenado de los Keggys ocurren en la instalación para kegs con ayuda de suplementos especiales para garantizar una conexión correcta. El CO_2 es suministrado por peso.

Barril de cerveza autorrefrigerante "CoolKeg"

Una especialidad es también el barril de cerveza autorrefrigerante "CoolKeg" (Figura 5.95a). El CoolKeg –ofrecido en tamaños de 5 a 20 litros– está compuesto por tres cubiertas: La cubierta interior está formada por la bolsa (de cerveza) del barril (2). En la cubierta intermedia se encuentra colocado, bajo vacío, un paño absorbente que contiene agua. El paño está rodeado por una pared perforada, el evaporador (5). En la tercera cubierta se encuentra –también bajo vacío y separada por una cubierta con una válvula (3)– una capa de zeolita (4).

Como zeolitas se denomina un grupo de silicatos de aluminio alcalinos y alcalinotérreos con contenido de agua variable. Las zeolitas son muy fuertemente higroscópicas. Al ser calentadas, las zeolitas pueden entregar nuevamente el agua ligada y absorber para ello otros compuestos o iones. De este modo, las zeolitas son capaces de extraerles el agua a líquidos y gases. Esto es lo que se aprovecha aquí.

Por apertura de la válvula (1) se abre la conexión entre el evaporador (5) y la zeolita. La zeolita comienza inmediatamente con la absorción del agua que se encuentra en el paño absorbente del evaporador. El calor de evaporación necesario para la evaporación es extraído por el agua a la bolsa contigua de cerveza (2), que se enfría de esta manera. Luego de aproximadamente 30 min, el contenido del barril se ha enfriado lo suficiente, de manera que se puede realizar el expendio. La temperatura del contenido del barril de 6 - 9°C se mantiene por aproximadamente 12 horas.

Para la regeneración, la superficie lateral del barril es calentada por fuera durante breve tiempo a aproximadamente 250°C; de esta manera, el agua es transferida nuevamente fuera de la zeolita, al paño en el evaporador, donde se condensa nuevamente. Pero, entonces, la válvula debe ser cerrada nuevamente. De lo contrario, el proceso se reiniciaría inmediatamente. Para la limpieza del CoolKeg vacío y su llenado es necesaria una instalación separada. Finalmente, el barril lleno es etiquetado con una etiqueta envolvente (como en las latas). No es recomendable una impresión de la cubierta perfilada del barril, dado que la pared del barril debe ser calentada en cada regeneración a 250°C.

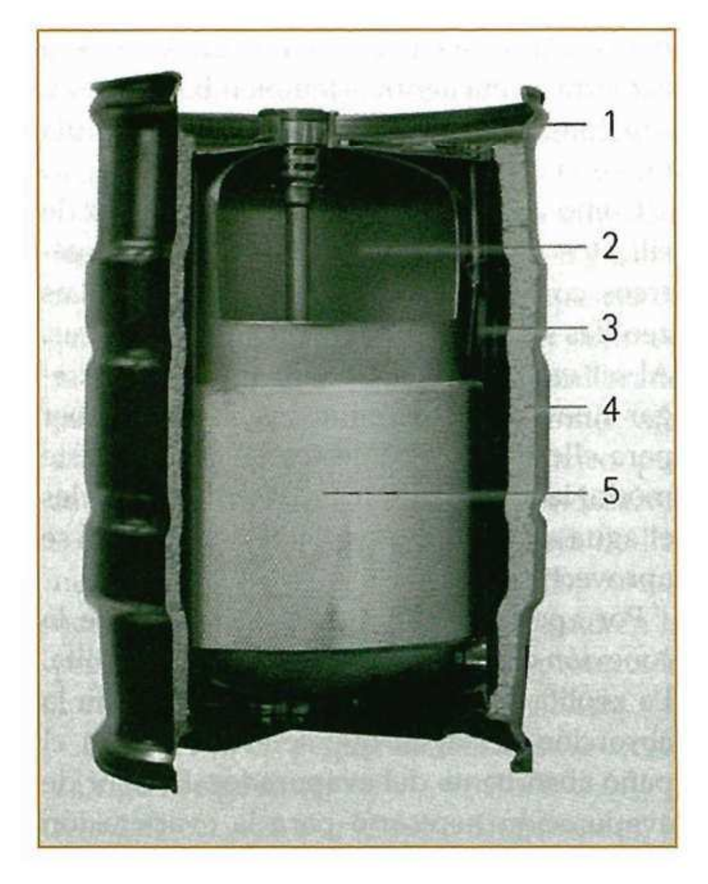


Figura 5.95a
Barril de cerveza autorrefrigerante "CoolKeg"
(1) accionamiento de válvula, (2) cubierta de cerveza, (3) válvula, (4) zeolita, (5) evaporador

5.6.6 Llenado de latas grandes

Muchas fábricas de cerveza ofrecen latas grandes con capacidad de 5 litros. Estas latas están previstas, sobre todo, para fiestas familiares y de jardín, cuando es de esperar un consumo más elevado –en grupo y dentro de un círculo íntimo– y se quiere disfrutar la cerveza de barril de la lata (= barril) grupal. Las latas son llenadas y cerradas en plantas de envasado especiales. Con la ayuda de dispositivos sencillos y adquiribles se puede extraer luego la cerveza a presión. En el caso más sencillo hay colocados para ello dispositivos de descarga en la lata, los cuales sólo deben ser tirados hacia fuera. En esto no se debe olvidar hacer una abertura en la parte superior para evitar una formación de vacío y evitar así una paralización de la descarga. Son mejores los dispositivos algo más caros, pero que mantienen la presión interna hasta el final por suministro de aire o CO_2, de manera que se evita que el resto de cerveza se ponga soso si la velocidad de consumo de bebida disminuyera hacia el final. Las latas grandes también son cada vez más populares y en especial ya no pueden dejar de ser consideradas en fiestas veraniegas de jardín.

Las latas grandes también deben ser marcadas con la fecha mínima de conservación.

5.7 Transporte y embalaje

Sólo en pocos casos, el consumidor compra botellas y latas en forma individual. Para el transporte y la venta, éstas son embaladas en unidades de embalaje como cajones, cajas de cartón, bandejas (trays) o sixpacks, y se las transporta así. Para el tráfico entre la fábrica de cerveza y el comercio, estas unidades de embalaje son depositadas y transportadas sobre paletas. De esto resulta una cantidad de funciones individuales para la fábrica de cerveza por:

- el despaletizado, es decir, tomar de la paleta los cajones con botellas vacías,
- el desembalaje y la clasificación de las botellas vacías de las unidades de embalaje,
- el transporte de las botellas y latas hasta el taponado (o cierre) y el etiquetado,
- el embalaje de las botellas y latas llenadas en cajones, cajas de cartón, bandejas, etc., y
- el paletizado de los cajones, bandejas, sixpacks o cartonajes.

Dado que las paletas y los embalajes también deben ser controlados y transportados, resulta de ello una variedad de problemas y tareas, que se detallan a continuación:

- el transporte de botellas y latas (transporte de recipientes),
  - el transporte de cajones, cartonajes, bandejas, etc.,
  - el transporte de paletas,

- la alimentación con productos de vidrio nuevo y latas,
- el desembalaje y embalaje de las botellas y las latas
- el paletizado y el despaletizado, así como
- el control de los medios de embalaje.

5.7.1 Contenedores de transporte

Los contenedores de transporte para botellas son cajones de plástico, cajas de cartón, sixpacks y otros paquetes pequeños. Son, junto con la etiqueta en la botella o en la lata, el eslabón importante del fabricante con el consumidor. La configuración, el color, la forma, el diseño y el estado del contenedor transmiten al consumidor una impresión individual importante que impacta fuertemente. Es por ello entendible que la mayoría de las empresas de fabricación de bebidas presta gran atención al diseño del contenedor.

Entre los contenedores de transporte, los cajones de plástico ocupan un lugar especial, porque son los únicos contenedores retornables.

Cajones de plástico

Antaño había únicamente cajones planos de madera compartimentados; en la pared lateral del cajón estaba marcado a fuego visiblemente el nombre de la fábrica de cerveza. Con la aparición de la tecnología del plástico, los cajones de plástico compartimentados han desarrollado, mientras tanto, un aspecto notable con el logotipo de la empresa claramente visible.

Los cajones de plástico en uso son de los más variados tamaños, formas, colores y diseños. Se los usa para encajonar en cada uno de 6 a 24 botellas con contenidos de 0,25 a 1 litro. Los cajones están siempre equipados con compartimentos para evitar entrechoques y rozamientos mutuos de las botellas. La altura de los cajones sobrepasa la de la botella para proteger las botellas y para posibilitar, por medio de un correspondiente diseño de cajón, un apilado de cajones seguro y sin problemas.

Se distingue en esto entre cajones individuales, que marcan claramente la compañía y el tipo de cerveza, a través la elección de colores, el logotipo de la empresa y otras particularidades. El cajón individual publicitariamente efectivo tiene como desventaja la necesidad de ser retornado siempre a la misma empresa, lo cual causa a veces dificultades y, sobre todo, costos.

En los cajones neutrales de grupo se prescinde de la efectividad publicitaria, pero el grupo puede utilizar el conjunto de cajones dentro de su asociación. Por medio de ventanas y aberturas se puede lograr, sin embargo, una cierta efectividad publicitaria –en conexión con etiquetas correctamente orientadas–.

Los cajones de plástico son el medio de transporte usual para botellas retornables. Pero los cajones grandes (20 - 24 botellas) son cada vez menos populares, porque son muy pesados para los compradores –en particular para mujeres y personas ancianas–. El cajón con las botellas de vidrio vacías pesa casi tanto como todo el contenido. Como resultado, muchas fábricas de cerveza ofrecen también cajones más pequeños.

Cajas de cartón

Las cajas de cartón plegables se emplean para contenedores no retornables. Si se embalan botellas retornables en cajas de cartón plegables, estas últimas pueden ser utilizadas para el transporte de retorno, pero no para un embalaje nuevo. Las cajas de cartón plegables se ofrecen en diferentes diseños y, por medio de máquinas desplegadoras de cajas de cartón, son llevadas muy rápidamente a la forma prevista y cerradas con adhesivo caliente y/o engrapadoras.

Las cajas de cartón plegables son ofrecidas con y también sin compartimentos. La colocación de los compartimentos causa a veces

problemas. Por otro lado, los compartimentos evitan un rozamiento de las botellas o las latas entre sí. Hoy en día, los compartimentos son introducidos ya prefabricados (ver Figura 5.109c).

Bandejas (trays)

Se entiende por esto bandejas planas de cartón, que sirven para recibir y embalar latas o botellas pequeñas. Para lograr una mayor estabilidad, las bandejas son recubiertas frecuentemente con una película. Tal como los cajones y las cajas de cartón, también las bandejas son apilables; la carga se encuentra, sin embargo, directamente sobre las latas o bocas de botella. Aunque la carga se distribuya por ello uniformemente, la altura de apilado es limitada.

Sixpacks, embalajes enfundados/múltiples

Por sixpacks se entienden embalajes fáciles de manipular y de diseño atractivo para 6 botellas o latas, que son embaladas con película u ofrecidas de forma publicitariamente efectiva como embalajes enfundados/múltiples. En esto son usuales también otras formas de agrupación (4 a 8). Dado que los sixpacks u otros embalajes pequeños no son aptos para ser transportados sueltos en grandes cantidades, se los embala por lo general en bandejas, formando unidades de embalaje de mayor tamaño (Figura 5.95b)

Paletas (palets)

Las paletas son la forma más grande de embalaje para transporte en la fábrica de cerveza. En las plantas de envasado y entre la fábrica y el comercio, las unidades de embalaje, es decir, cajones, cajas de cartón y bandejas, son apiladas, transportadas y almacenadas sobre paletas.

Por paleta se entiende un soporte para bienes apilables, cuya base es normalizada a nivel de fábrica, a nivel nacional o a nivel internacional (por ejemplo UE). Existe una gran variedad de paletas, de las cuales se utilizan, sobre todo, dos tipos en las plantas de envasado:

- las paletas-caja o paletas enrejadas, por ejemplo, para el transporte de bienes pequeños como tapones corona y
- las paletas planas para el almacenamiento y el transporte de las unidades de embalaje.

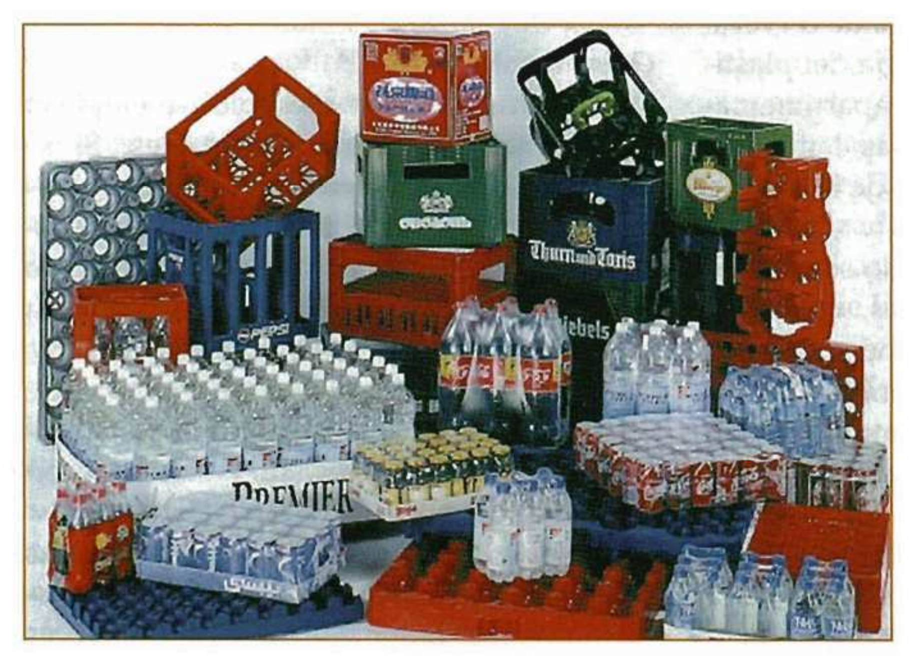


Figura 5.95b
Una variedad de embalajes determina hoy en día la oferta

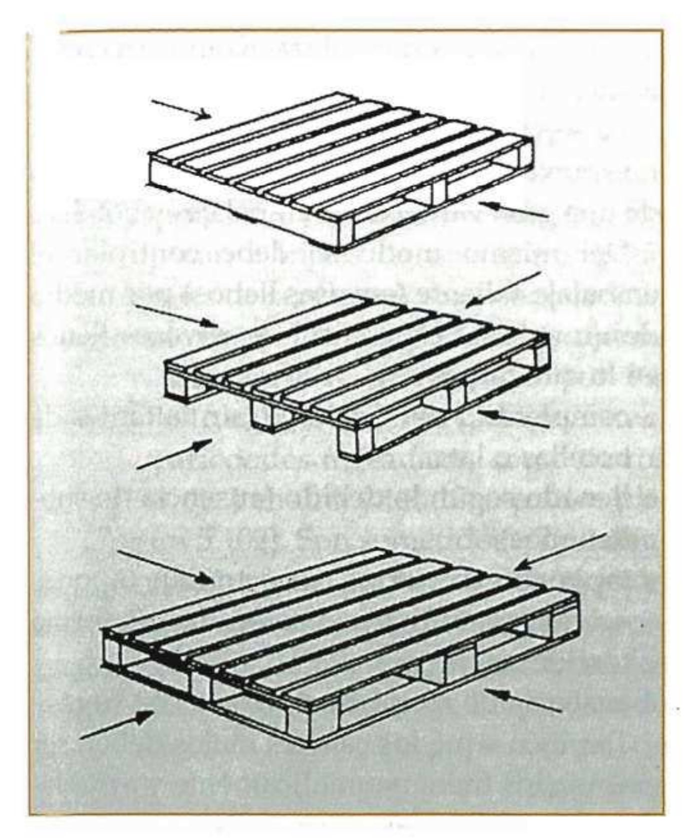


Figura 5.109
Paletas planas
(A) paleta con patines, de entrada doble
(B) paleta con patines, de entrada cuádruple
(C) paleta con seis patines, de entrada cuádruple

Las paletas planas (Figura 5.109) consisten en una superficie normalizada de tablas libres de astillas, que son mantenidas por tacos robustos de madera a una altura tal que la carretilla con horquilla elevadora tenga espacio suficiente para introducir sus uñas. Para proveer rigidez adicional hay tablas debajo de los tacos (o maderas escuadradas). Según la disposición de las tablas y maderas, se distingue entre:

- paleta con patines, de entrada doble (A), que sólo puede ser elevada por dos lados,
- paleta con patines, de entrada cuádruple (B), que puede ser elevada por todos los lados, así como
- paleta con seis patines, de entrada cuádruple (C), que también puede ser elevada por todos los lados.

El tamaño y la forma de las paletas deben corresponderse con el tamaño y la forma de las unidades de embalaje para lograr un grado de utilización óptimo de las superficies. Frecuentemente se prevé en esto –particularmente en el caso de cajas de cartón y bandejas– una disposición de los embalajes, alternada en forma longitudinal y transversal, para obtener una mejor estabilidad en la estructura. Cada hilera de embalaje se denomina "capa".

En el área de la UE domina actualmente la forma B como Euro-paleta con las medidas 800×1200 mm (paleta cervecera).

5.7.2 Tratamiento de los cajones de plástico

Los cajones de plástico son los únicos embalajes retornables. Es por eso que su tratamiento requiere que se le preste especial atención. Esto concierne a:

- la separación de cajones ajenos y dañados (cajones malos),
- el lavado de los cajones y
- el almacenamiento intermedio en el depósito de cajones.

5.7.2.1 Separación de cajones y botellas ajenos y dañados

Los envases vacíos que retornan deben ser controlados, porque cualquier irregularidad conduce inevitablemente a fallos en el ulterior desarrollo de la producción, y de esta manera reduce el resultado. Este control ocurre de forma separada para botellas vacías y cajones.

Las botellas vacías que llegan son controladas con un aparato para control de envases vacíos, que está equipado electrónicamente con una cámara CCD en lo que respecta a:

- botellas incorrectas según su altura (demasiado altas o demasiado pequeñas),
- botellas incorrectas según su color,
- tapones colocados.

Las botellas detectadas como incorrectas son expulsadas por un empujador.

5

El control de los cajones vacíos tiene la misma importancia. Representan la fábrica de cerveza y deben salir nuevamente de ésta únicamente en estado limpio y uniforme. Para ello se controlan los siguientes parámetros para la separación de cajones ajenos o que no están como es debido:

- color de cajón,
- logotipo de la empresa,
- fisuras en la abertura de agarre,
- objetos bastos en o sobre el cajón,
- botellas rotas y otras irregularidades.

Luego de la detección, los "cajones malos"son expulsados por medio de un empujador y tratados posteriormente de forma separada. Si no hay un dispositivo de control –en especial, en el caso de fábricas de cerveza más pequeñas–, se debe realizar el control de forma visual. Dado que este tratamiento especial siempre ocupa tiempo de trabajo, se deben determinar las causas más frecuentes y sacar las conclusiones para el trabajo futuro con el comercio o con otros clientes.

La separación de los cajones y botellas ajenos puede llegar a ser muy costosa en el caso de una gran variedad de embalajes y botellas.

Del mismo modo se debe controlar el embalaje saliente (envases llenos) por medio de un aparato de control de envases llenos en lo que respecta a:

- completitud del embalaje (sin faltantes de botellas o latas),
- llenado según lo debido (ausencia de subllenados),
- taponado (o cierre) correcto (sin tapones –o cierres– faltantes o colocados de forma torcida),
- ausencia de recipientes rotos o con fugas.

También aquí, los cajones malos deben ser empujados fuera neumáticamente y arreglados. Estas fallas deben, sin embargo, ser buscadas siempre dentro de la propia empresa.

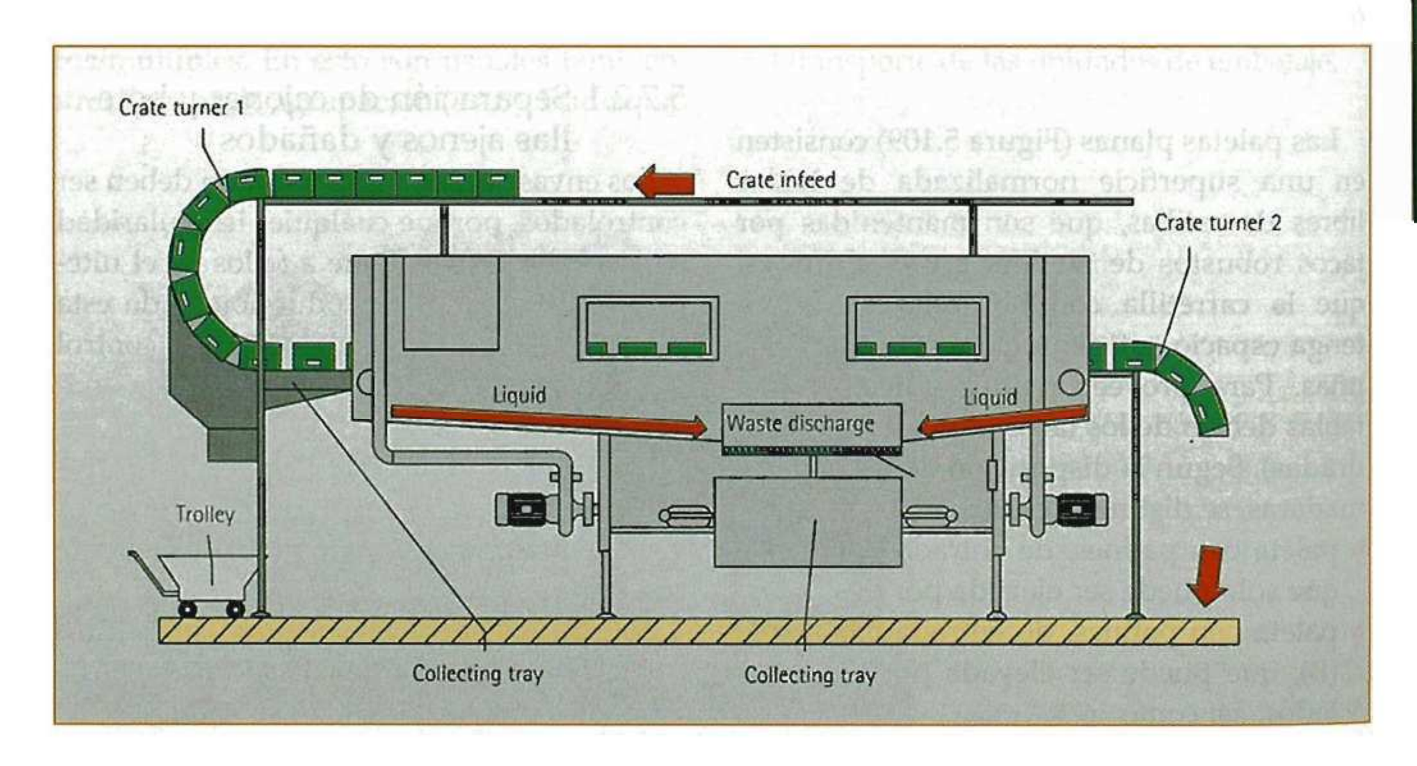


Figura 5.102
Lavadora de cajones

7.2.2 Lavado de los cajones

Los cajones retornan del cliente limpios en mayor o menor grado. Pero la imagen de la empresa depende también considerablemente del aspecto del cajón. Es por ello que los cajones pasan a través de una lavadora de cajones antes de ser llenados con las botellas.

Generalmente, las lavadoras de cajones son túneles sencillos, atravesados por los cajones volteados hacia abajo (para la extracción de suciedades mecánicas, como trozos de vidrio, etc.) en una y también en dos pistas (Figura 5.102). Son sometidos a un rociado de enjuague por rociado a alta presión con lejía o al menos con agua caliente, y posrociado en frío, de manera tal que todas las superficies sean tratadas y limpiadas de forma efectiva. Los cajones terminan de gotear, son volteados y quedan disponibles para ser llenados nuevamente.

5.7.2.3 Depósito de cajones

Cuando ingresa un nuevo tipo (variedad) de cerveza, los cajones vaciados de botellas vacías quedan sin usar durante el período desde la limpieza de botellas hasta el etiquetado e incluyendo eventualmente la pasteurización. Estarían bloqueando totalmente la circulación de cajones si no se los guarda por ese período prolongado, que, al fin y al cabo, puede llegar a ser media hora o más en un depósito de cajones, desde el cual se los puede extraer nuevamente en todo momento.

Hay diferentes formas de apilar los cajones. Una solución preferida es el depósito de cajones vacíos en hileras, que ofrece una elevada capacidad de almacenamiento con el menor requerimiento de espacio. Este depósito de cajones vacíos en hileras es una instalación angosta (sólo tan ancha como un cajón), pero muy alta (Figura 5.101), en la cual se introducen los cajones vacíos hasta completar una hilera. Luego la hilera es elevada y se llena la próxima hilera. El proceso continúa desarrollándose hasta que llegan de la planta las primeras botellas para ser encajonadas. Los cajones que pasan entonces son llenados con las botellas llenas, en

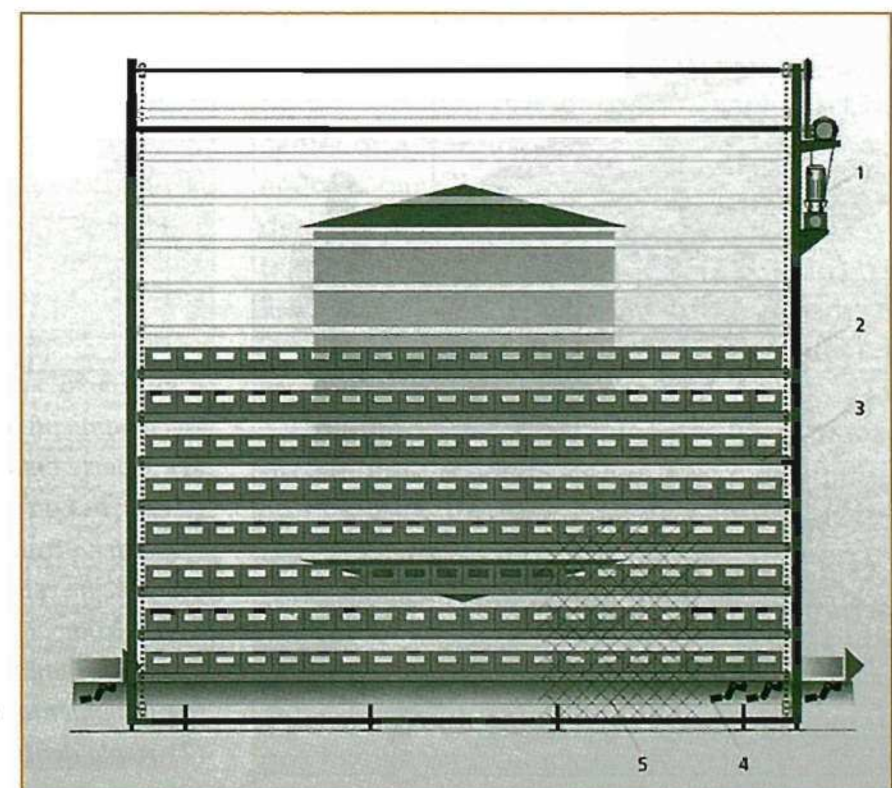


Figura 5.101
Depósito de cajones
(1) accionamiento,
(2) bastidor,
(3) perfil ángulo de elevación,
(4) pista de deslizamiento con topes neumáticos,
(5) reja de protección

tanto que el depósito queda detenido en estado lleno por el momento. Una vez que han pasado los últimos cajones, el depósito es vaciado de la misma manera, de modo que al final todos los cajones correspondientes al tipo de cerveza están llenos nuevamente con las botellas llenas.

5

5.7.3 Técnica de transporte

Las botellas y las latas deben ser transportadas de una estación a la siguiente sin problemas y lo menos ruidosamente posible como flujo de masas. Los cajones deben completar ciertos caminos para recibir a tiempo envases llenados nuevamente. Finalmente, las paletas deben transportar las unidades grandes a los puntos previstos.

5.7.3.1 Transporte de botellas y latas

El transporte de las botellas y las latas ocurre por lo general por medio de cadenas planas de charnelas de acero al cromo-níquel, sobre las cuales los recipientes son transportados de forma suave y segura. Según las exigencias, las cadenas planas de charnelas son construidas en una o varias pistas. Cada transportador por cadena plana de charnelas (Figura 5.96) está compuesto por un apoyo posicionado de forma segura (8), que también puede compensar las irregularidades del piso, una o varias ruedas dentadas de accionamiento para cadena (7), que mueven la cadena plana de charnelas (3) uniformemente sobre rieles guía de deslizamiento. Las cadenas son impulsadas por un motor de accionamiento a través de un eje. Unas barandas laterales (1) guían las botellas y latas, y previenen que los recipientes de transporte caigan afuera. En esto, las barandas laterales tienen particular importancia, dado que deben estar diseñadas diferentemente, según tipo, forma y tamaño de reci-

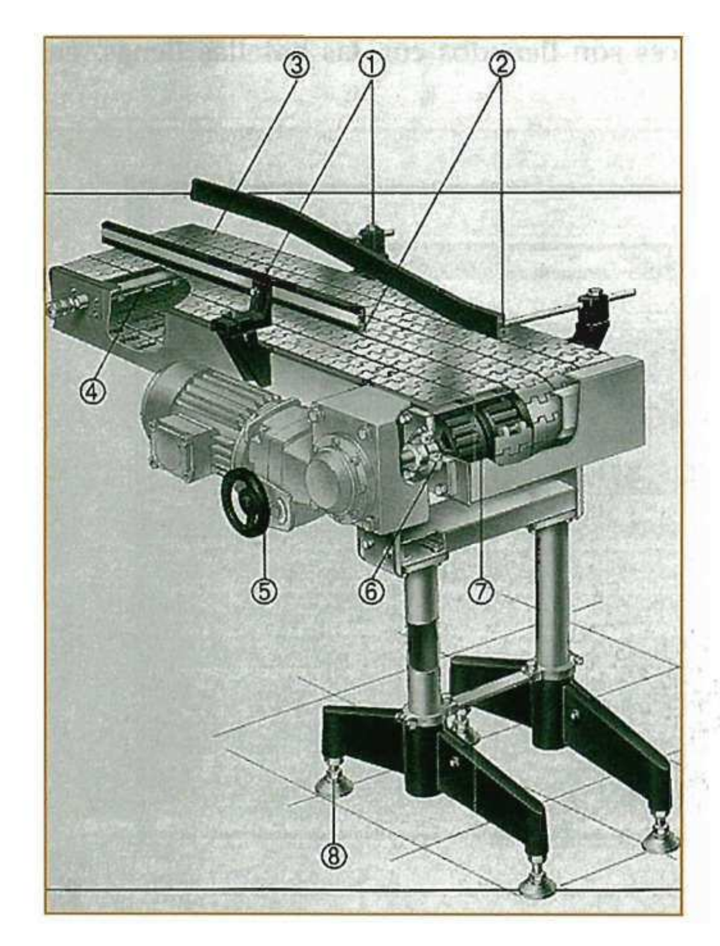


Figura 5.96
Accionamiento de una cadena plana de charnelas
(1) soporte ajustable de baranda,
(2) perfiles guía de deslizamiento,
(3) cadena transportadora,
(4) sistema estacionario de toberas para limpieza de cadena,
(5) motorreductor ajustable,
(6) rodamiento de bolas,
(7) rueda dentada de accionamiento de cadena,
(8) compensación de nivel (patas ajustables)

ente utilizado (botellas de vidrio, de PET, latas), para prevenir rozamientos o daños innecesarios.

Circunstancialmente es necesario un cambio de dirección en 90° en varios puntos del transporte de recipientes. En el caso de transporte de recipientes individuales en instalaciones de una o varias pistas, se prefieren cadenas planas de charnelas que sean aptas para curvas. En el pasaje por las curvas y en transportadores de varias pistas, las botellas rotan y rozan entre sí. Debido a esto se producen rayaduras sobre las superficies de los recipientes, que pueden ser reducidas a dos anillos de rozamientos a través de un diseño apropiado. Pero, sin embargo, estas rayaduras empeoran el aspecto de las botellas progresivamente con cada circuito.

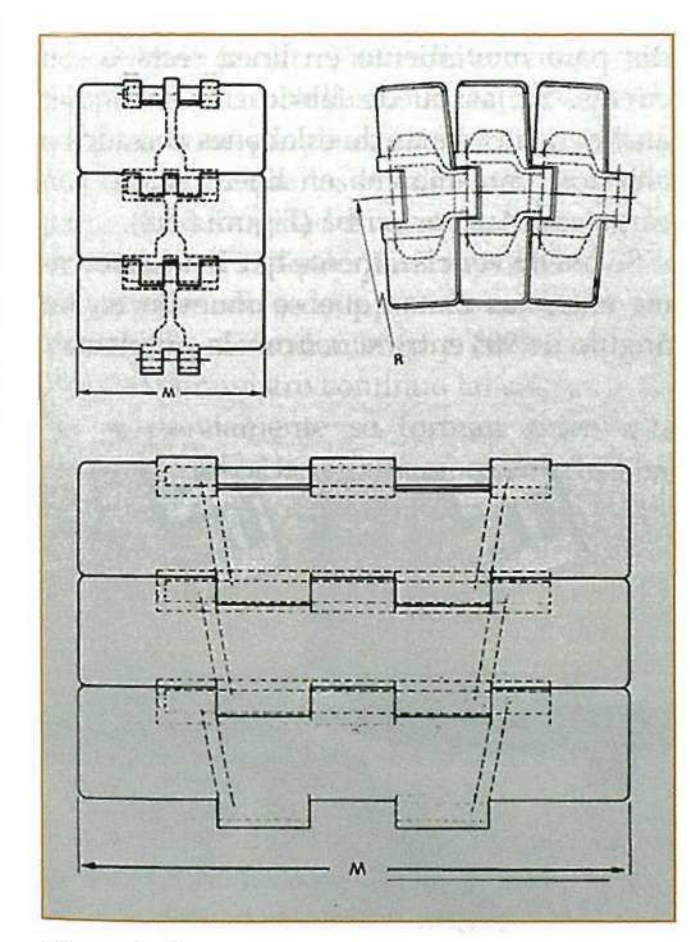


Figura 5.97
Cadenas planas de charnelas para transporte en línea recta o para transporte en curvas

El rendimiento de toda la planta depende de la calidad de las cadenas planas de charnelas. Es por eso que se exigen elevados requisitos a las cadenas en lo que respecta a fuerzas de tracción, alargamiento indeseado de cadena, dureza superficial y exactitud dimensional. Las cadenas planas de charnelas están compuestas en su mayoría por placas de acero inoxidable –de movimiento en línea recta o en curvas– (Figura 5.97), que son guiadas sobre rieles de deslizamiento. A los efectos de reducir el coeficiente de rozamiento, se deben utilizar aquí, sin embargo, agentes lubricantes de cinta.

Agente lubricante de cintas

Como agente lubricante de cintas se utilizan en el caso más sencillo trozos de jabón de lavar, que se gastan gradualmente. A veces también existe una lubricación por baño de inmersión, donde el tramo inferior de la cadena atraviesa un depósito en el que se encuentra una mezcla de agua y jabón. Si bien todo esto es apropiado como agente lubricante, por otro lado, el jabón forma espuma y, junto con agua dura, produce compuestos insolubles, lo cual tiene un efecto negativo. Por este motivo, al agente lubricante que contiene jabón se le adicionan agentes para ligar los formadores de dureza del agua. Pero estos agentes causan frecuentemente la liberación de metales pesados de los lodos de aguas residuales, lo cual condujo a la prohibición del uso de tales agentes en muchos países.

Hoy en día se ofrecen agentes lubricantes, producidos a escala comercial, que contienen aminas, y recientemente también agentes deslizantes libres de aminas, que están compuestos por tensioactivos no iónicos y que ofrecen considerables ventajas en la utilización. En particular, ya no es necesario un ablandamiento del agua y el riesgo de que se produzcan precipitaciones es reducido. Pero deben ser biodegradables.

Los agentes lubricantes de cintas son adicionados automáticamente, dado que su alimentación uniforme es de gran importancia para la operación. La cantidad necesaria es dependiente de la longitud de cinta, la velocidad de cinta, el tipo de recipiente, el ingreso de humedad y el secado, la relación de arrastre y la calidad del agua. Por motivos obvios se está interesado en adicionar tan poco agente lubricante de cintas como sea posible dado que, de lo contrario, estos lubricantes tienden a una formación indeseada de espuma debajo de las cintas y se los encuentra nuevamente en las aguas residuales.

Cintas (bandas) de plástico

En tiempos recientes se utilizan cada vez más cintas de plástico, que cumplen con las mismas exigencias, pero que no requieren lubricación de cinta alguna. Pueden marchar en seco o bien alcanzar una mojadura permanente con agua. Esto, por supuesto, ahorra considerables recursos y no carga las aguas residuales.

Las cintas de plástico son fabricadas hoy en día de polipropileno, polietileno, termoplásticos de acetal, poliéster termoplástico de inflamabilidad retardada o de nylon resistente a los golpes y al calor. En particular, los termoplásticos de acetal tienen una buena combinación de propiedades mecánicas, térmicas y químicas. Son muy resistentes al desgaste, a la fatiga de material, y tienen un bajo coeficiente de rozamiento.

Las cintas de plástico se emplean en la fábrica de cerveza preferentemente para el transporte de latas, botellas de PET y botellas de vidrio llenas. Ciertas reservas frente a la utilización de cintas de plástico para el transporte de botellas de vidrio vacías se basan en el temor de que trozos de vidrio filosos y duros puedan dañar la cadena o atascarse en ésta.

Aparte de ello, las cintas de plástico se utilizan cada vez más para el transporte de cajones y como esteras de transporte en pasteurizadores de pasaje.

Las cadenas de plástico se ofrecen hoy en día para movimiento en línea recta o con curvas. Se las puede fabricar en cualquier ancho, con cadenas de eslabones cerrados o abiertos, para marcha en línea recta o con carga angular por arriba (Figura 5.98).

Se puede ver claramente que la transferencia entre las cintas que se mueven en un ángulo de 90° entre sí ocurre sin problemas.



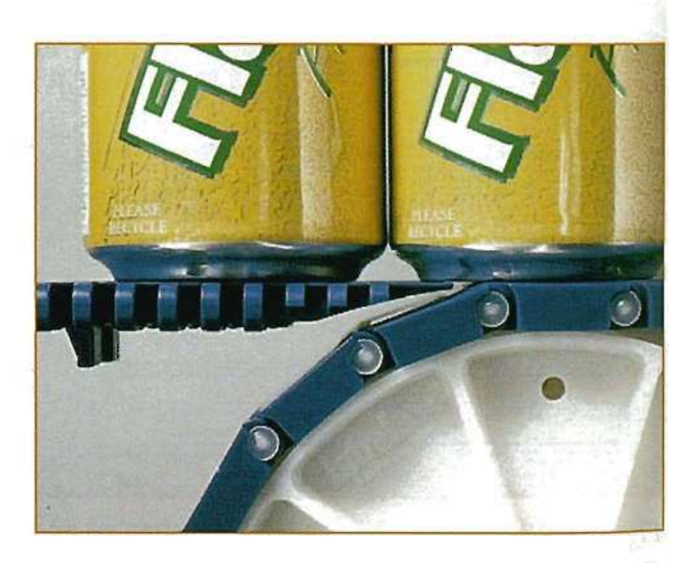


Figura 5.98
Estación de transferencia con bandas de plástico

Ya se encuentran muy difundidas cintas de plástico de distintos anchos y con superficies de diferentes diseño.

La ventaja esencial en el empleo de cintas de plástico es que se prescinde del uso de agentes lubricantes de cinta. Con esto ya no hay formación de espuma en los pisos y se reduce la carga de las aguas residuales.

Tramos pulmón y separadores

Las duraciones de ciclo de trabajo de las diferentes máquinas y equipos en una planta envasadora son inevitablemente muy diferentes. En tanto que la descarga de las paletas ocurre durante períodos más prolongados, en una planta envasadora de, por ejemplo, 50.000 botellas/h se deben inspeccionar, llenar y taponar en cada segundo (50.000: 3600 s) 14 botellas. Esta área –desde la inspección, pasando por el llenado hasta el taponado (o cierre) inmediatamente subsiguiente de las botellas o latas– debe poder ser pasada sin problemas y sin congestiones. Esto significa que las botellas o latas deben poder ser alimentadas a esta área de forma continuada. Cualquier interrupción del proceso de llenado o de taponado conlleva una merma en el rendimiento y en la calidad. Pero un suministro continuo tal sólo es posible si previamente se forman suficientes "pulmones", en los cuales crece una reserva, de la cual se pueden suministrar suficientes botellas de forma continuada a la llenadora. Esto se logra colocando cadenas de varias pistas, por medio de las cuales las botellas son empujadas hacia "adelante". En esto se trabaja muy frecuentemente con diferentes velocidades de cinta para lograr un movimiento específico. Para estos transportes de recipientes se dispone de muchos elementos de transporte a los efectos de lograr una formación deseada o un cambio de dirección de los recipientes. La carga paralela por arriba es utilizada por ejemplo en todas aquellas áreas en las cuales se deben transportar recipientes de estabilidad crítica, como botellas de PET o botellas con una superficie de apoyo de diámetro menor que 60 mm.

Son importantes los separadores (convergencias de recipientes). A través de éstos se debe lograr obtener de la gran reserva de botellas o latas una alimentación continuada de recipientes individuales. Esto ocurre por utilización de

Glideliners

Los glideliners posibilitan la separación de botellas que llegan en varias pistas según el principio del plano inclinado. En esto, los recipientes pasan varias cintas, que se mueven a velocidades diferentes, y se ordenan en fila sin presión de embotellamiento. El glideliner trabaja silenciosamente y trata los recipientes cuidadosamente, dado que las velocidades de cinta difieren muy poco.

Glideliner de descarga

En la descarga de la máquina, el glideliner funciona de forma inversa, como distribuidor: los recipientes vienen de la máquina con alta velocidad formando una fila y llegan a un transportador inclinado, en el cual la velocidad disminuye. Aquí se ensancha el flujo de recipientes, dado que los diferentes recipientes se deslizan con diferente intensidad.

Inliners

Para la separación de botellas de plástico se utiliza el inliner, el cual posee una superficie horizontal de transporte y una baranda de conformación parabólica, a lo largo de la cual se deslizan los recipientes. Por medio de cintas que se mueven a velocidades diferentes, las botellas convergen sin presión de embotellamiento.

Distribuidor de pistas

Los recipientes que arriban por una pista son distribuidos por un dispositivo de separación sobre dos cintas que se mueven para-

lelamente. Las cintas están muy levemente inclinadas hacia afuera luego del dispositivo de separación a los efectos de dirigir los recipientes fácilmente sobre la cinta seleccionada.

Distribución silenciosa (Busy Compact)

Para la repartición de las masas de recipientes se utiliza muy tempranamente la chapa de deslizamiento divisora a fin de repartir el flujo de recipientes –sin caídas– de forma silenciosa y tranquila.

Limpieza de las cadenas planas de charnelas

Si las cadenas planas de charnelas no son limpiadas suficientemente, se depositan en su área nidos de contaminaciones, que de forma permanente ponen cada vez más contaminaciones en movimiento en dirección a la llenadora. Por ello, las instalaciones de transporte se diseñan hoy en día para que sean en lo posible fáciles de limpiar y la limpieza interior del transportador es automatizada. En esto se limpian, por medio de sistemas de rociado seleccionados óptimamente y desde adentro hacia afuera, todas las áreas críticas dentro de la estructura de transporte; por ejemplo, ruedas desviadoras y de accionamiento, piezas separadoras y cadenas transportadoras (Figura 5.96a). Se contrarresta con ello la formación de nidos de contaminación.

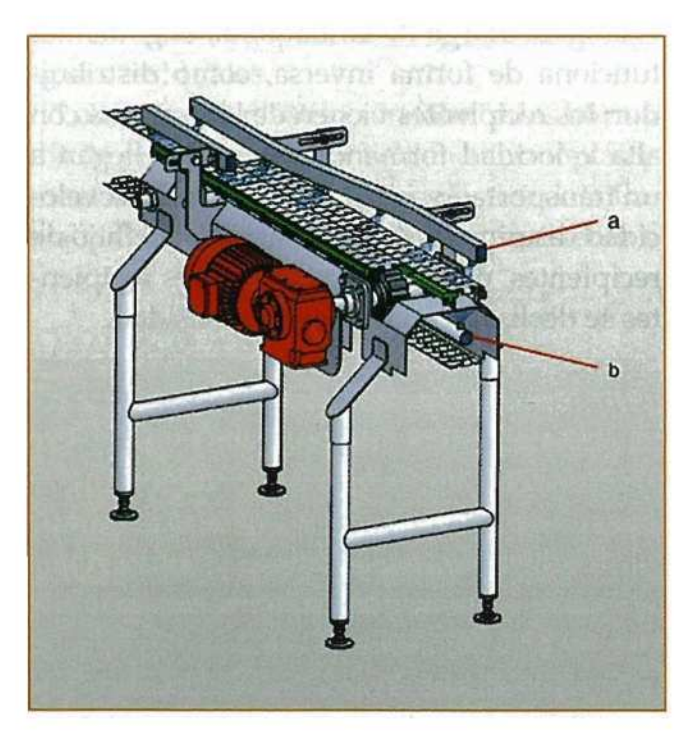


Figura 5.96a
Limpieza exterior e interior de cadenas planas de charnelas
(a) limpieza exterior - integrada en la baranda,
(b) limpieza interior

Por principio rige por ello lo siguiente para cadenas planas de charnelas:

- No permitir nidos de suciedad: evitar uniones roscadas; unir por soldadura rieles de guía, soportes de baranda y patas; mantener reducidas las superficies de contacto
- Garantizar buena accesibilidad para propósitos de limpieza: ausencia de chapas protectoras, descarga amplia de trozos de vidrio
- Garantizar el drenaje de los líquidos (medio de nutrición para contaminantes): superficies de drenaje inclinadas, ausencia de superficies horizontales

5.7.3.2 Transporte de contenedores

El transporte de contenedores ocurre por transportadores de cadena plana de charnelas de plástico o acero inoxidable, por transportadores de rodillos, transportadores de ruedas, transportadores de cinta y transportadores de banda modular con bandas de plástico.

Las cadenas de acero inoxidable se emplean predominantemente para plástico y corren sobre rieles plásticos de deslizamiento especialmente resistentes al desgaste. En las curvas se utilizan sistemas tipo Magnetflex con imanes permanentes fuertes.

Los transportadores por rodillos tienen aplicaciones muy diferenciadas, como

- transportadores por rodillos con accionamiento,

- transportadores de acumulación con rodillos y con accionamiento,
- transportadores por rodillos y por gravedad, y
- transportadores por rodillos alineadores.

A través de dispositivos de giro se puede colocar transversalmente o invertir el sentido de cajones o cajas de cartón colocados longitudinalmente. Las cadenas planas de charnelas trabajan generalmente con una diferencia de velocidad entre la cadena sin revestir y la revestida, la cual por su lado es de acero inoxidable, en el caso de cajones de plástico, y es de plástico, en el caso de cajones de cartón.

Las cadenas de plástico se mueven sin lubricación de cinta sobre rieles de plástico y se las utiliza primariamente para cajas de cartón o bandejas vacías.

Sobre las cadenas de ruedas se pueden transportar de forma segura y cuidadosa contenedores no retornables, tales como embalajes termoencogidos (shrinkpacks).

Los transportadores de cinta se utilizan frecuentemente como cintas separadoras de parada para crear espacios entre los contenedores; de este modo se las puede usar también de forma efectiva como cintas de control para controles de envases llenos y vacíos. Para cajas de cartón y bandejas se pueden utilizar los transportadores de cinta como transportadores ascendentes y descendentes hasta pendientes de 20°. Los transportadores de cinta se emplean preferentemente como transportadores ascendentes con o sin cinta previa a los efectos de obtener, por medio de la cinta accionada por motor, un aumento de altura, desde el cual los cajones pueden luego deslizarse con pendiente propia sobre rodillos a una instalación subsiguiente.

Las bandas modulares son apropiadas particularmente para el transporte de contenedores no retornables, dado que éstos se apoyan con toda la superficie de fondo. Con bandas modulares cubiertas de goma se pueden realizar también tramos ascendentes de forma efectiva.

5.7.4 Técnica de embalaje

El desembalaje y el embalaje (desencajonado/encajonado) de las botellas y latas demandan las más altas exigencias a las máquinas y los equipos. Al fin y al cabo se deben desencajonar o encajonar, en una planta con 50.000 botellas/h, 2500 cajones/h de 20 botellas cada uno. Esto significa (con 60 min/h) 42 cajones en cada minuto o (con 60 s/min) 0,7 cajones en cada segundo. Con tales rendimientos se requiere la mayor precisión y exactitud para que todo se desarrolle sin problemas. Es por ello que, hoy en día, la técnica de embalaje tiene la más alta prioridad. En esto, no sólo las embaladoras para cajones (encajonadoras) imponen altas exigencias, sino cada vez más también lo hacen las embaladoras para los variados tipos de contenedores pequeños.

5.7.4.1 Cabezal de agarre y tulipas de agarre

Se desembala o embala siempre una unidad de embalaje como mínimo; es decir, uno o más

- cajones de plástico,
- cajas plegables (con o sin compartimentos),
- bandejas o también otras unidades de embalaje.

Para el desencajonado o el encajonado de las botellas, la desencajonadora o la encajonadora disponen de uno o varios cabezales de agarre con la misma cantidad y disposición de tulipas de agarre que corresponde a la cantidad y disposición de las botellas en la unidad de embalaje (cajón, caja de cartón, bandeja). Es decir que, si hay 20 botellas (4 · 5) en el cajón, el cabezal de agarre debe tener 20 tulipas de agarre (4 · 5). De esto resulta también que cada embaladora está equipada

únicamente para un determinado tipo de unidad de embalaje. Es decir que para otros tipos de embalaje se necesita reequipar la embaladora.

Los procesos en el desencajonado de las botellas vacías son en principio los mismos que en el encajonado de las botellas llenas. Es por eso que hoy en día las encajonadoras se construyen en su mayoría como desencajonadoras/encajonadoras.

La forma de trabajo básica de una encajonadora se detalla con el ejemplo en Figura 5.103. Las botellas son suministradas a la encajonadora a través de una mesa de botellas (6). Para que siempre sean suministradas suficientes botellas, éstas son acumuladas previamente y guiadas en pistas separadas entre sí. Las botellas se encuentran ahora una detrás de otra, formando una fila. Para que, por las dudas, no falte alguna botella, se realiza un control electrónico de completitud de cantidad de botellas.

El cabezal de agarre (3) desciende hacia abajo, toma 24 botellas o latas con sus $3 \cdot 8 =$ 24 tulipas de agarre, retorna y las coloca en los cajones o cajas de cartón dispuestos para ello, los cuales son llevados inmediatamente. Entre tanto, aparecen las siguientes botellas o latas, así como también los siguientes cajones, y el proceso puede recomenzar.

En el caso de la desencajonadora, el proceso ocurre en la dirección contraria, con los cajones que son detenidos y ubicados en una posición determinada. Las botellas desencajonadas son depositadas de manera segura sobre una mesa de descarga, la que naturalmente no posee pistas de distribución.

El proceso de desencajonado, por supuesto, sólo puede funcionar sin problemas si

- el cajón no contiene botellas más grandes, más pequeñas o de forma diferente, y
- no hay tapones corona colocados sobre botellas individuales.

En el caso de botellas con tapones roscados, se deben utilizar siempre desenrocadores.

La pieza central de las encajonadoras son las tulipas de agarre, que deben sostener y transportar de forma segura, pero también

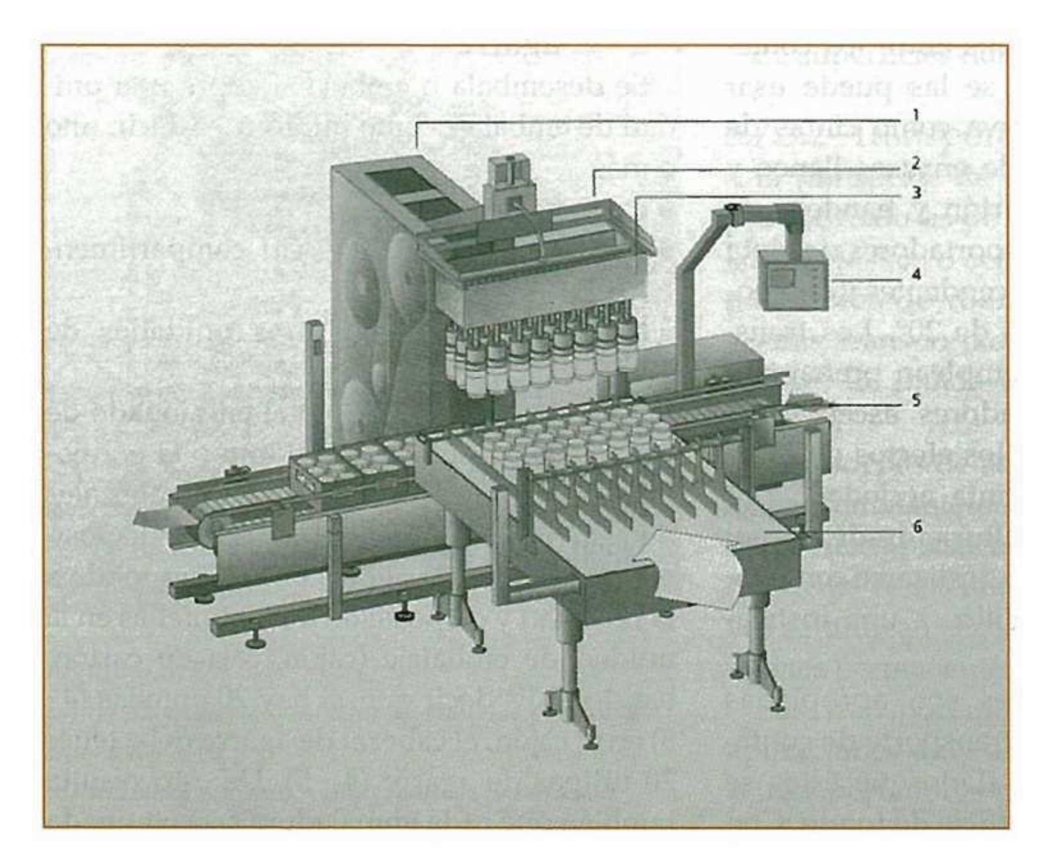


Figura 5.103
Encajonadora/desencajonadora, principio básico de trabajo
(1) bastidor básico,
(2) suspensión de cabezal de agarre,
(3) cabezal de agarre,
(4) consola de mando,
(5) pista de cajones,
(6) mesa de botellas

cuidadosa, las botellas o latas. Son el elemento de unión entre la máquina y el bien a encajonar. Se distingue en esto entre tulipas de agarre mecánicas y mecánico-neumáticas.

Las tulipas de agarre mecánicas toman la botella directamente por la boca de ésta (Figura 5.104). Las decoraciones adicionales, tales como láminas, etiquetas de seguridad, precintos, etc., no deben ser dañadas en este proceso. Es por ello que existen diferentes sistemas de agarre para botellas de vidrio, botellas de PET, tapones tipo twist off para cuello ancho y otros sistemas de taponado.

Las tulipas de agarre mecánico-neumáticas (Figura 5.104a) poseen un dispositivo de agarre de botellas accionado neumáticamente. En este proceso solamente se aprietan neumáticamente unos dedos insensibles contra las botellas, que son sostenidas de esta manera. El manguito protegido en la

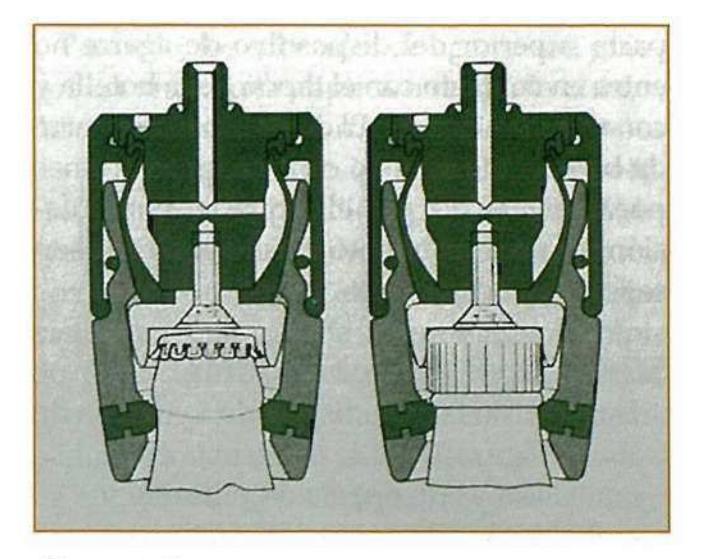


Figura 5.104
Cabezales de tulipas de agarre de operación mecánica

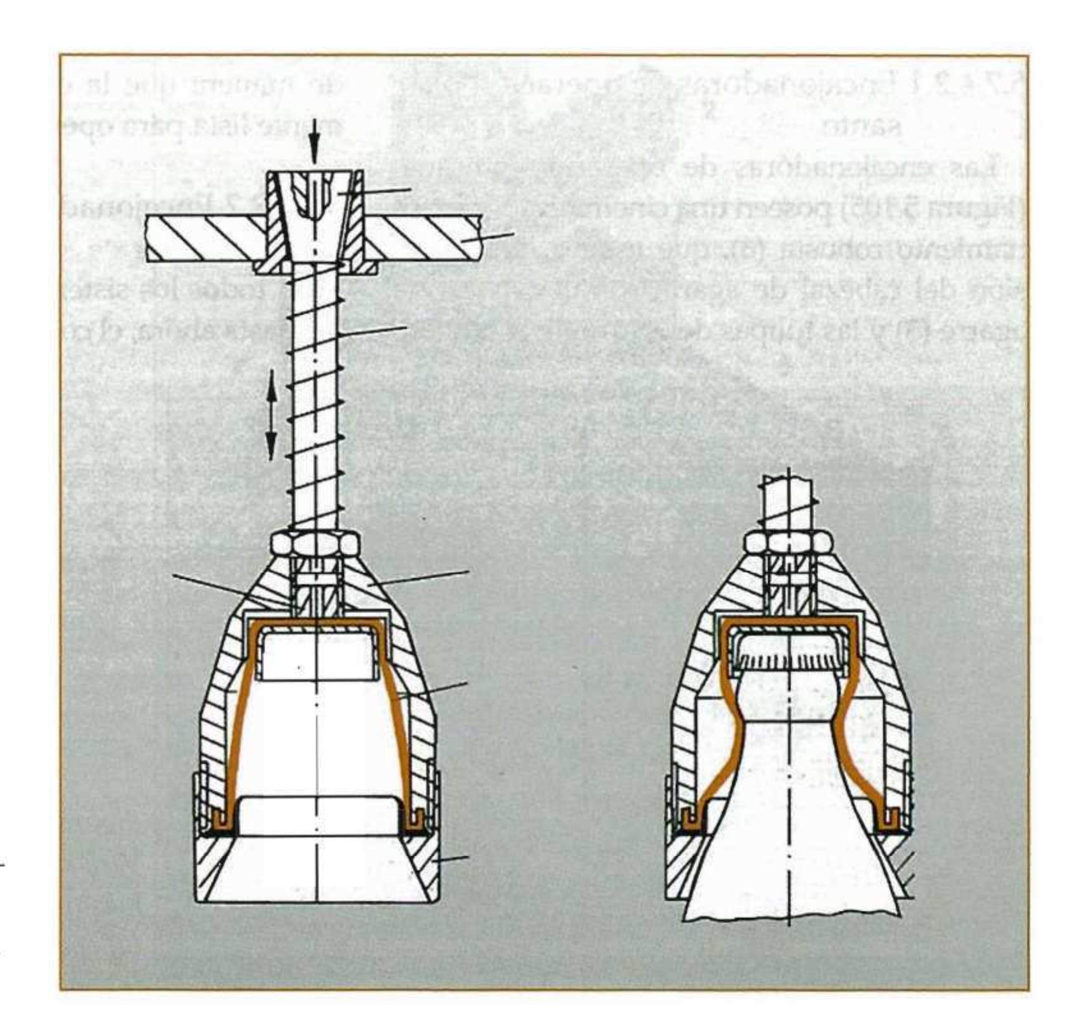


Figura 5.104a
Tulipa de agarre de operación neumática (principio de acción)

parte superior del dispositivo de agarre no entra en contacto con el tapón de la botella y con el vidrio de ésta. El dispositivo de agarre de botellas neumático consiste sólo en unas pocas piezas. Es por ello que la manipulación, el mantenimiento y la reparación son sencillos y económicos.

5.7.4.2 Tipos de embaladoras

De acuerdo con su disposición y forma de trabajo (Figura 105a) se diferencia entre:

- embaladoras de operación pulsante y
- embaladoras de operación continua.

Se da una importancia cada vez mayor a embaladoras para unidades de embalaje pequeñas (sixpacks, embalajes enfundados/múltiples).

Aparte de ello existen embaladoras múltiples, que son adicionalmente capaces de embalar embalajes pequeños, tales como sixpacks, en embalajes grandes.

5.7.4.2.1 Encajonadoras de operación pulsante

Las encajonadoras de operación pulsante (Figura 5.105) poseen una cinemática de accionamiento robusta (6), que mueve la suspensión del cabezal de agarre con el cabezal de agarre (3) y las tulipas de agarre de la manera requerida. Según su tamaño, el cabezal de agarre toma o entrega de una vez hasta 10 unidades contenedoras en fila. A través de un accionamiento electromotriz se genera un movimiento rotatorio continuo y uniforme de manivela, el cual representa la base para un modo de operación uniforme del travesaño de agarre.

Según el tipo y tamaño de contenedor, así como del equipamiento posible de una o de dos filas del cabezal de agarre, son posibles rendimientos muy altos. En la mayoría de los casos se encajonan o desencajonan con esta encajonadora sólo botellas de igual tipo y tamaño. Si aun así es necesario un cambio de formato, muchas encajonadoras poseen un dispositivo de cambio de formato en el bastidor de perfiles ubicado encima de la encajonadora. Por medio de un dispositivo de elevación se mueve automáticamente un cuadro de cambio hacia arriba, se deposita el juego de accesorios y se coloca otro juego de accesorios, de manera que la encajonadora está nuevamente lista para operar en muy breve tiempo.

5.7.4.2.2 Encajonadoras de operación continua

En todos los sistemas de embalaje descriptos hasta ahora, el contenedor debe estar quie-

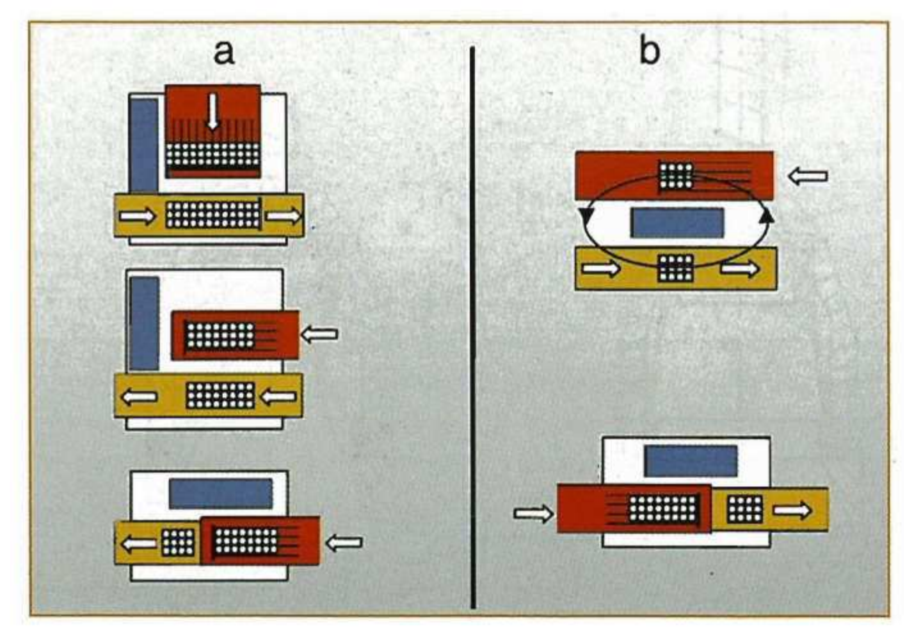


Figura 105a
Variantes de disposición para máquinas embaladoras
(a) operación pulsante,
(b) operación continua

t en el momento de la extracción o la introducción de los recipientes para que pueda ser realizada una transferencia correcta. Pero, cuanto mayor es el rendimiento, tanto menos tiempo queda para la inmovilización y la alineación de los cajones y las botellas. Como resultado de ello se desarrollaron encajonadoras de tipo rotatorio (Figura 5.107), que realizan el proceso de encajonado en una circulación continua. Pero esto presupone un mecanismo muy complicado, dado que, por ejemplo, en la encajonadora de tipo rotatorio Innopack CR (Empresa KHS, Dortmund) se encuentran permanentemente 6 cabezales de agarre en circulación, cuyos movimientos deben desarrollarse en todo momento de forma controlada y precisa.

Para ello, los cabezales de agarre son guiados en una órbita elíptica o de óvalo alargado, y se suben o bajan en esto los cabezales de agarre según necesidad. El flujo de botellas entrante es dividido para ello casi sin presión y los flujos individuales preformados son extraídos y distribuidos en varias pistas por una cadena de movimiento rápido para curvas. Las botellas llegan de esta manera en filas cerradas a la estación agrupadora, donde se las divide en formaciones de encajonado (en el ejemplo 6 · 4 botellas). Esta formación de encajonado (en la Figura 5.107 son 6 · 8 botellas) es movida uniformemente sobre la mesa de botellas (6) y allí es agarrada y levantada por las tulipas de agarre (4), que descienden sincrónicamente.

5

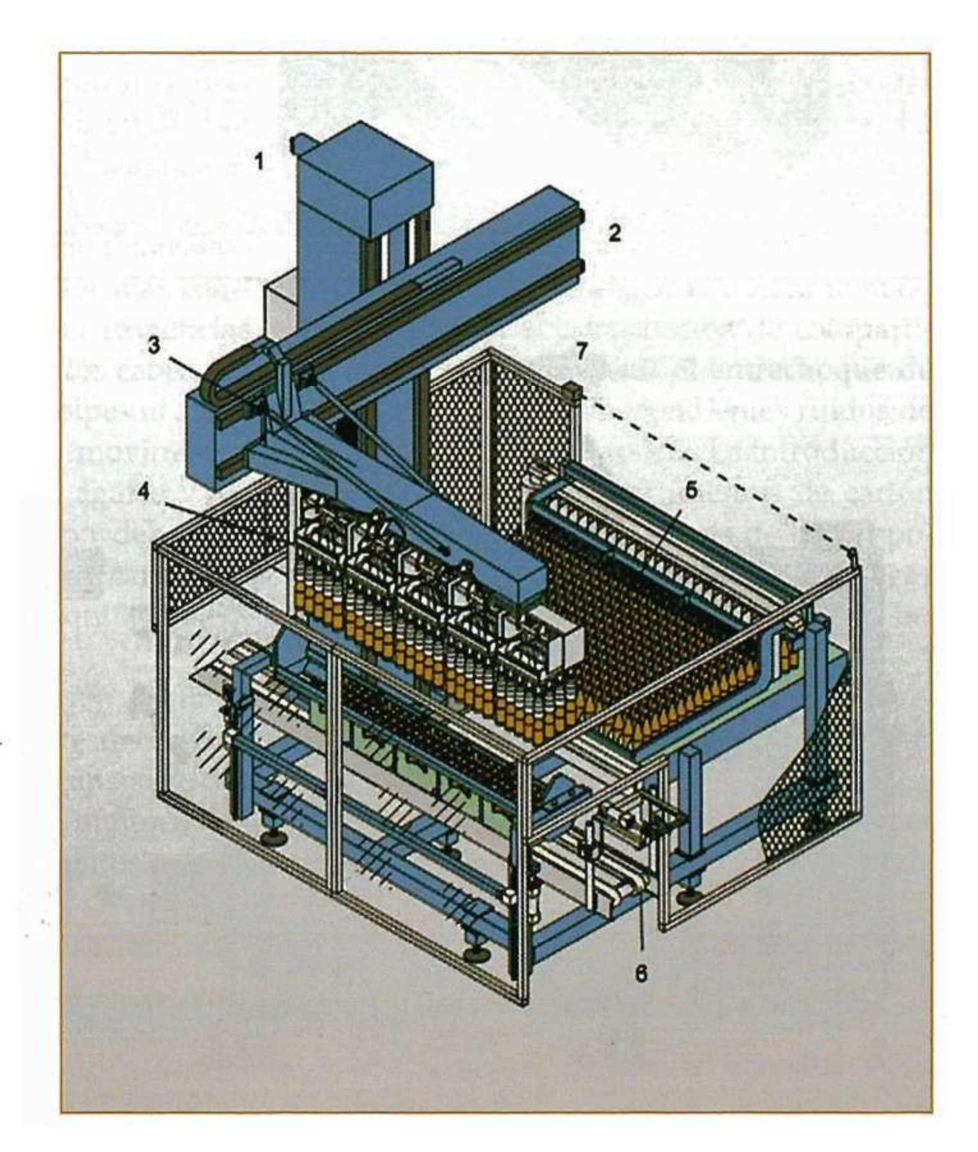


Figura 5.105
Encajonadora de operación pulsante tipo Linapac II, Krones Neutraubling
(1) columna elevadora,
(2) eje horizontal,
(3) portador de cabezales de agarre,
(4) cabezal de agarre,
(5) mesa de recipientes,
(6) dispositivo de seguridad

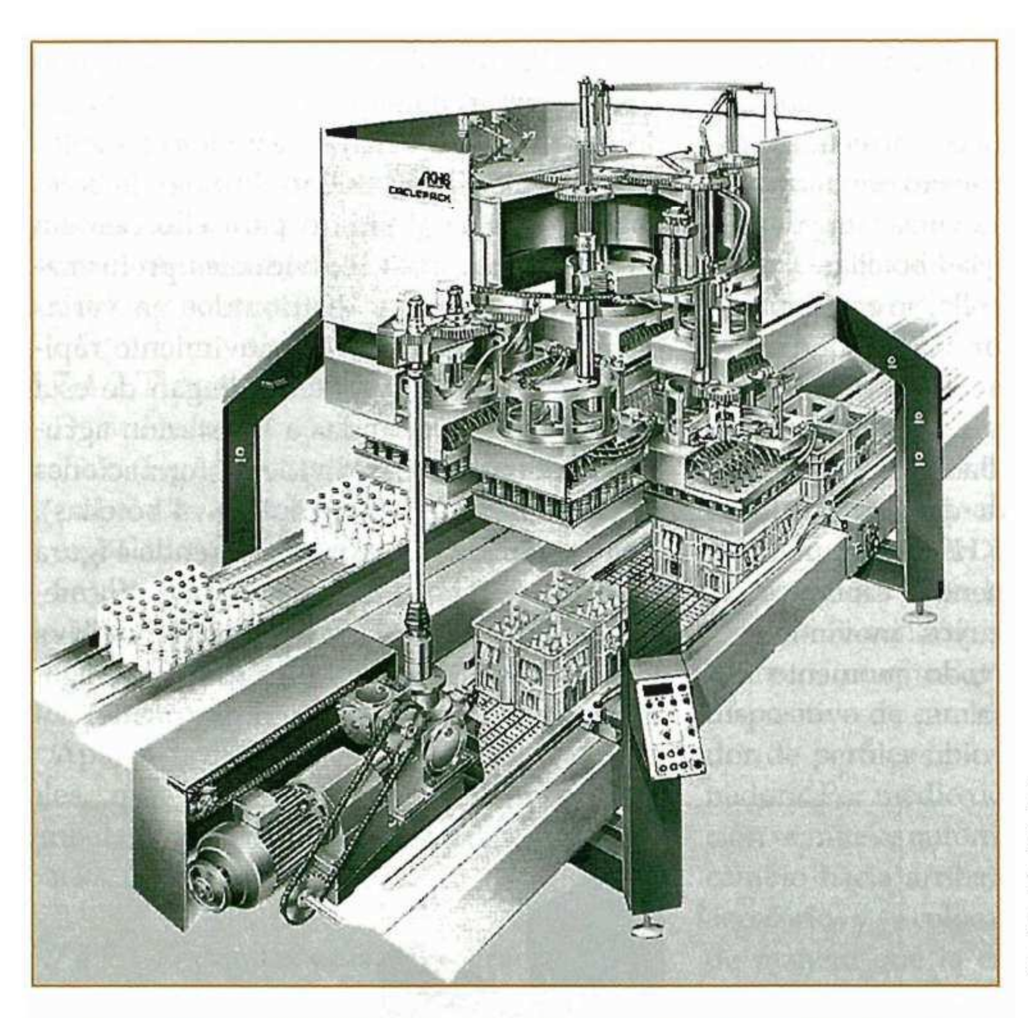


Figura 5.107
Desencajonadora continua "Circlepack" con cabezales de agarre de circulación horizontal

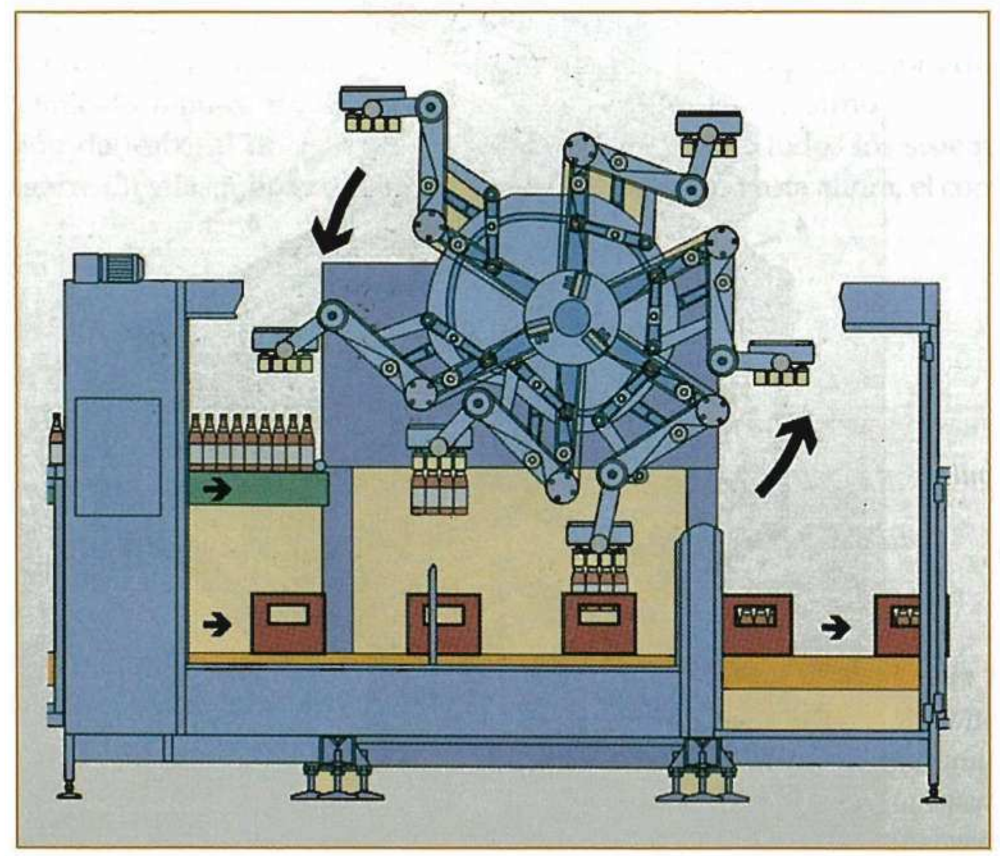


Figura 5.108
Desencajonadora y encajonadora de operación continua tipo "Roundpack II 464" (Empresa Krones Neutraubling)

Del otro lado de la encajonadora, los cajones se mueven en sentido contrario, porque el movimiento de las tulipas de agarre lo requiere así. Las tulipas de agarre son descendidas, el marco centrador (5) toma el cajón (en nuestro caso son 4 cajones) y desciende las botellas en los cajones que continúan moviéndose. Luego, el cabezal de agarre asciende nuevamente y recomienza el proceso.

Mientras los cabezales de agarre con las botellas son guiados horizontalmente en un movimiento elíptico en las encajonadoras de tipo rotatorio descriptas, en la máquina encajonadora/desencajonadora de operación continua "Roundpack II 464" (empresa Krones, Neutraubling) (Figura 5.108), ocurre una circulación vertical de dispositivos de agarre, en la cual las entradas y la salida de botellas y cajones están dispuestas una debajo de la otra. Esto garantiza un reducido requerimiento de espacio y una buena accesibilidad a la instalación.

Las encajonadoras de operación continua representan el sistema embalador más complicado y tienen las más altas exigencias para con el material. Para ello, los cabezales de agarre deben moverse sin golpes ni sacudidas y deben garantizar un movimiento sincrónico de los cabezales de agarre y los contenedores. Al mismo tiempo debe cuidarse, en el caso de que se produzcan fallas, de que el cabezal de agarre sea quitado de la fuente de falla.

Las encajonadoras de operación continua son construidas para transporte de cajones por una pista, o también para transporte por dos pistas, para poder cumplir también con rendimientos de envasado más altos.

Los cajones que

- salen vacíos de la encajonadora son suministrados a la máquina lavadora de cajones,
- salen llenos de la encajonadora van al paletizador.

5.7.4.2.3 Embaladoras para embalajes múltiples (embalajes multipack)

En muchos países, las embaladoras para embalajes múltiples –por lo general, para cuatro o seis recipientes– cumplen un papel cada vez más importante. El motivo principal radica generalmente en la dificultad de manipuleo y en el peso de los cajones pesados de cerveza, lo cual se puede evitar con los embalajes múltiples considerablemente más livianos. Además, no cualquiera quiere tener permanentemente un cajón completo parado por ahí.

Los pequeños embalajes múltiples, tanto sixpack envuelto en película con impresión o recortes de cartón tipo wrap around, publicitariamente efectivos, son suministrados en formación sobre las cintas y divididos primeramente según embalaje. El problema radica en el suministro de los cartonajes prerrecortados y pretroquelados de forma exacta. La figura 109a clarifica los procesos tecnológicos en el caso de bajo rendimiento; la Figura 109b, en el caso de alto rendimiento.

En el caso de cartonajes de mayor tamaño se recomienda la introducción de compartimentos a fin de prevenir el entrechoque de las botellas y los correspondientes ruidos de fondo durante el transporte. La introducción mecánica de los compartimentos de cartón es bastante trabajosa. A través de un depósito lateral se pueden empujar y desplegar compartimentos prefabricados entre las botellas y durante el pasaje (Figura 109c).

Los embalajes termoencogidos ganan, hoy en día, cada vez más en importancia. Sus ventajas son:

- la producción de PE requiere 3 veces menos energía que la producción de papel;
- la película de PE requiere sólo un 25% de material en comparación con el cartón;
- los embalajes termoencogidos son estables una vez embalados, no se necesitan divisores;

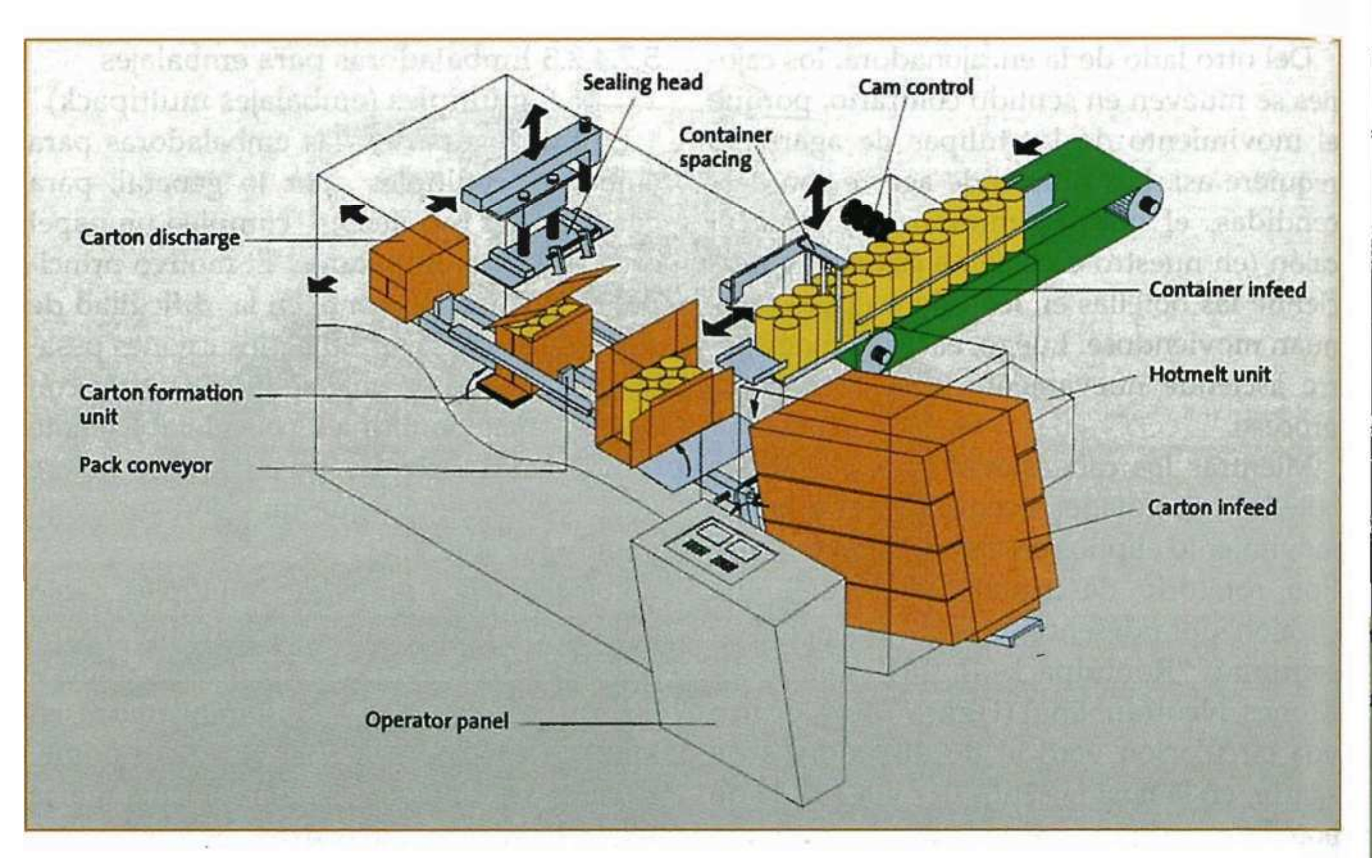


Figura 109a
Embaladora para embalaje múltiple (tipo Wrapapac W, T, WT, Krones Neutraubling)

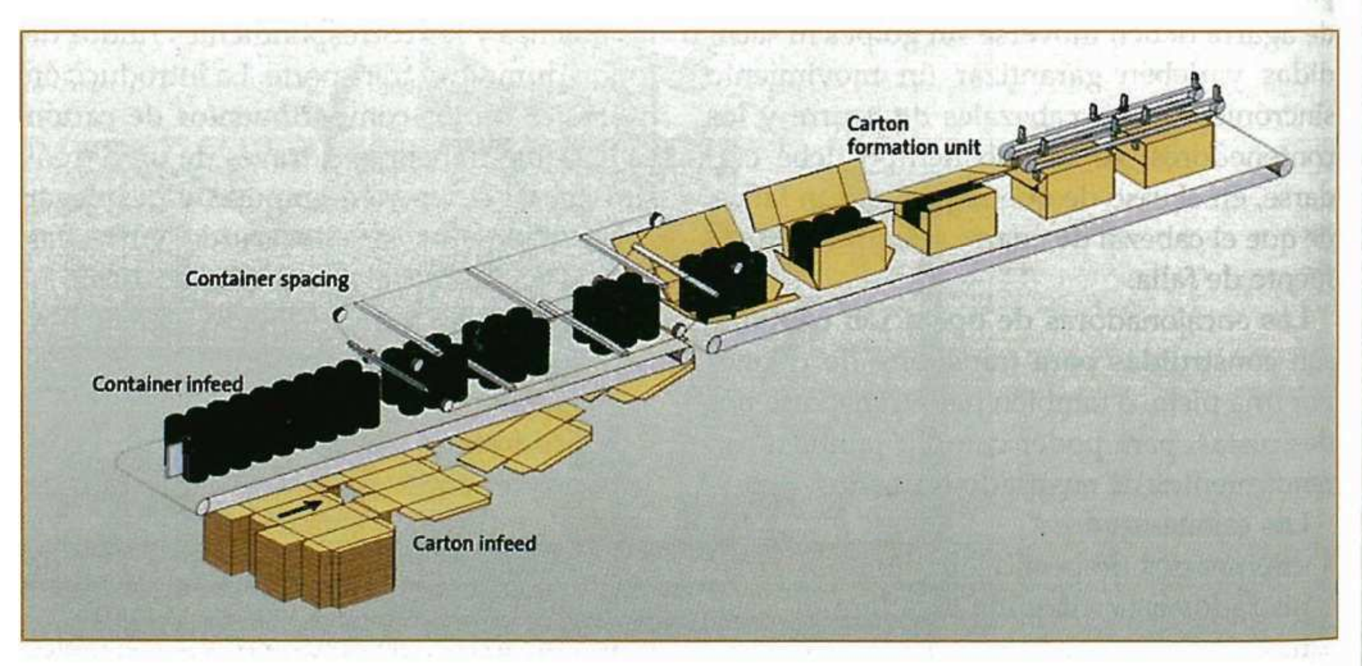
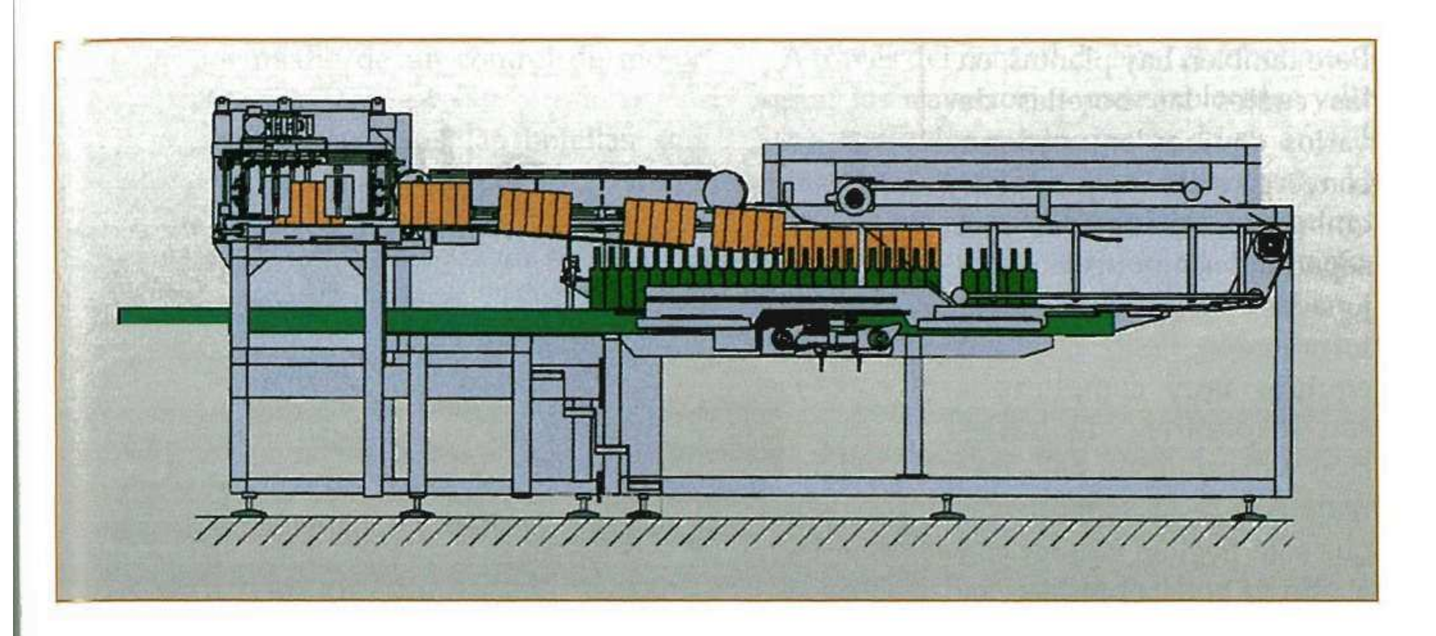


Figura 109b
Embaladora para embalajes múltiples (tipo W 30, Krones Neutraubling)



Figuar 109c: Introductor de compartimentos

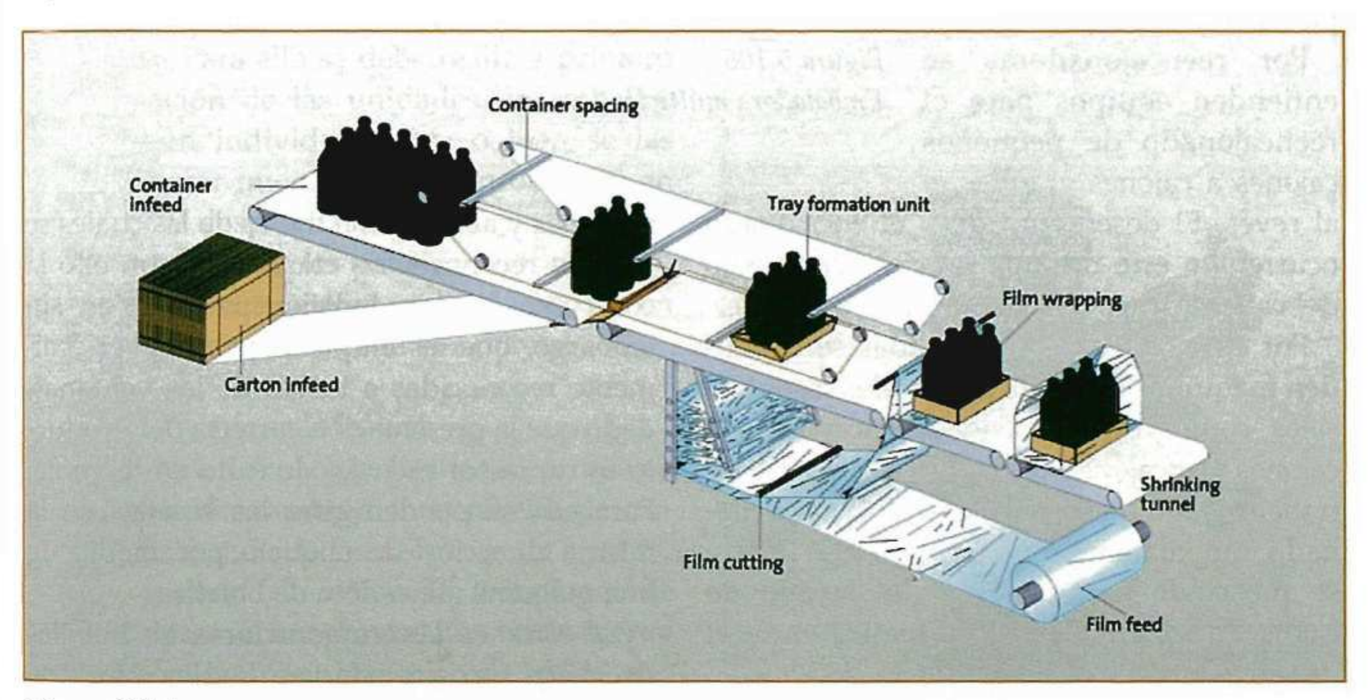


Figura 109d
Embalaje con bandeja y película termoencogible (tipo Variopac TFS, Krones Neutraubling)

- la película de PE es imprimible de forma publicitariamente efectiva.

Los embalajes termoencogidos son producidos con o sin bandeja. Respecto de la producción informa la Figura 109d. En el túnel adyacente de termoencogimiento se le aplica aire caliente al sixpack así embalado. La película se ablanda en este proceso y se encoge durante el enfriamiento. La película encapsula fuertemente el embalaje y le otorga una buena estabilidad.

5.7.4.2.4 Encajonadoras clasificadoras

En las plantas de envasado llegan botellas de un solo tipo luego del etiquetado y son encajonadas en cajones o cajas de cartón.

Pero también hay plantas, en las cuales las botellas de varios equipos envasadores convergen en un punto de embalaje. Allí deben ser separadas según tipo y encajonadas en los cajones predeterminados. Esto requiere equipos muy complicados con dispositivos de traslación y distribución para que realmente esté garantizado que sólo lleguen cajones con el tipo de botella preseleccionado al nivel correspondiente de la instalación o bien del paletizado.

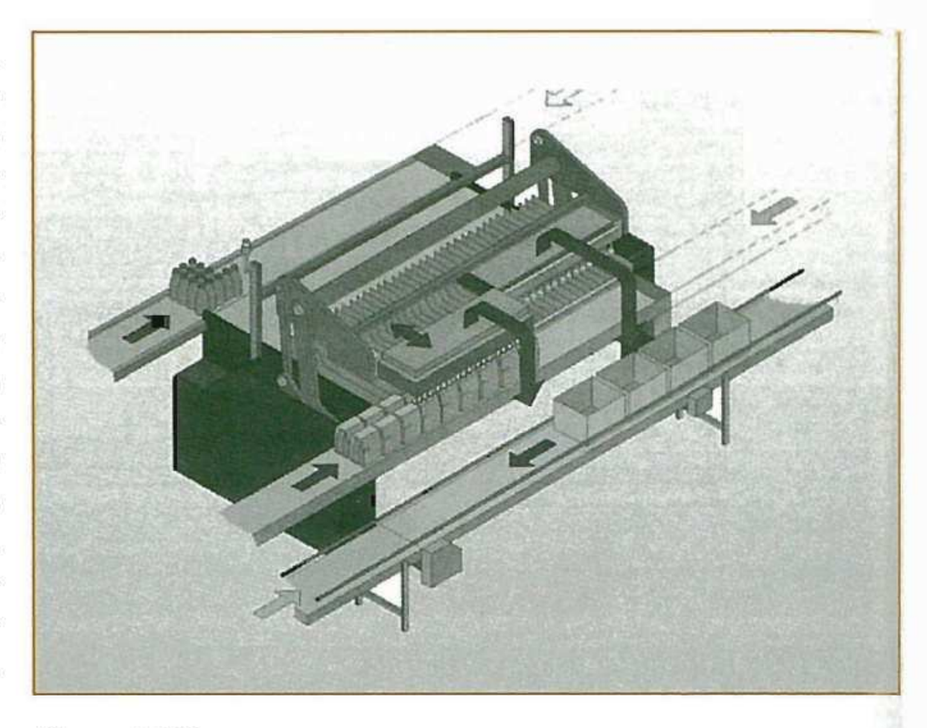


Figura 5.106
Embaladora múltiple

Por reencajonadoras se entienden equipos para el reencajonado de pequeños cajones a cajones grandes, o al revés. El desencajonado y el encajonado ocurren en esto durante un ciclo de trabajo del cabezal transversal común de embalaje.

Por encajonadoras combinadas se entienden máquinas con cuyos cabezales transversales comunes se puede desencajonar de cajones y encajonar en cajones en un ciclo de trabajo. Dado que en este caso el cajón es llenado inmediatamente con recipientes llenos, se prescinde naturalmente del lavado de cajón, que normalmente se realiza entre el desencajonado y el encajonado.

Por embaladoras múltiples se entienden aquellas embaladoras con las cuales se puede embalar contenedores pequeños para obtener contenedores de mayor tamaño.

5.7.4.2.5 Alineado de botellas

Los cajones individuales llenos están inequívocamente identificados por el color de cajón y el logotipo de la compañía. En el caso de cajones neutrales de grupo, se omite la identificación a través del cajón mismo. Pero, en esos casos, los cajones tienen usualmente ventanas y aberturas, a través de las cuales se pueden reconocer las etiquetas y con ello la compañía. La precondición para ello es, sin embargo, que las etiquetas puedan ser realmente reconocidas a través de las ventanas, dado que la presentación correcta del producto es un factor esencial de éxito en la venta. Para ello se pueden girar las botellas en la misma dirección de etiqueta por medio de una máquina alineadora de botellas.

Tal como en las encajonadoras, las botellas del cajón son sujetadas en la alineadora de botellas por medio de agarradores giratorios neumáticos. Estos agarradores de botellas –cada uno individualmente– están alojados de manera tal que pueden rotar y son movidos por el extremo superior a través de un motor. En el extremo inferior se encuentra un sensor de luz de reflexión en posición oblicua. Este sensor determina el final de la etiqueta durante el giro de la botella. Por giro de la botella en 360° se mide primeramente de forma exacta la posición de la etiqueta y luego se gira la botella a la posición predeter-

inada por medio de un control de motor paso a paso.

De esta manera, todas las botellas son posicionadas con la etiqueta orientada hacia la ventana.

Si se utilizan dos etiquetas (etiqueta anterior y etiqueta posterior), el sensor de luz debe determinar primero cuál es la etiqueta anterior y cuál es la posterior sobre la base de los diferentes tamaños de etiqueta; recién entonces se pueden alinear las botellas en la forma deseada.

5.7.5 Equipos de paletizado y despaletizado

Los contenedores son depositados sobre el equipo de paletizado o son extraídos de éste en capas. Para ello se debe realizar primero la formación de las unidades de embalaje que llegan individualmente o bien se las debe separar nuevamente sin problemas en el caso del despaletizado.

En el trabajo de los paletizadores y despaletizadores, la técnica de robot tiene hoy en día una importancia cada vez mayor.

5.7.5.1 Técnica de robot

La técnica de robot ha hecho su entrada en años recientes también en la fábrica de cerveza. La entrada de los robots es un ejemplo claro respecto de cómo la tecnología de ordenadores se integra cada vez más fuertemente en la máquina misma. La fábrica moderna de cerveza es hoy en día casi inimaginable sin robots.

- Los robots amplían el programa de máquinas para el área reducida de trabajo, por ejemplo, como centros combinados de embalaje y paletizado.
- Llevan a cabo funciones de máquina complejas, por ejemplo, embalaje, paletizado, clasificación, preparación para expedición.
- Ahorran más en espacio en comparación con sistemas convencionales; ahorro de sistemas de transporte.

A través del control de ejes, el robot puede seguir las trayectorias preestablecidas y llegar a cualquier punto dentro de su área de trabajo con un posicionamiento exacto. De esta manera es muy flexible en lo que respecta a definición de tareas y usos previstos.

Se distingue entre

- robots de operación lineal con dos ejes (Figura 109e),
- robots de brazo giratorio con tres ejes (Figura 109f) y
- robots de brazo articulado con cuatro a seis ejes (Figura 109g).

Los robots son utilizados hoy en día en muchas áreas de la fábrica de cerveza, pero muy en particular en el paletizado y despaletizado en la sala embotelladora.

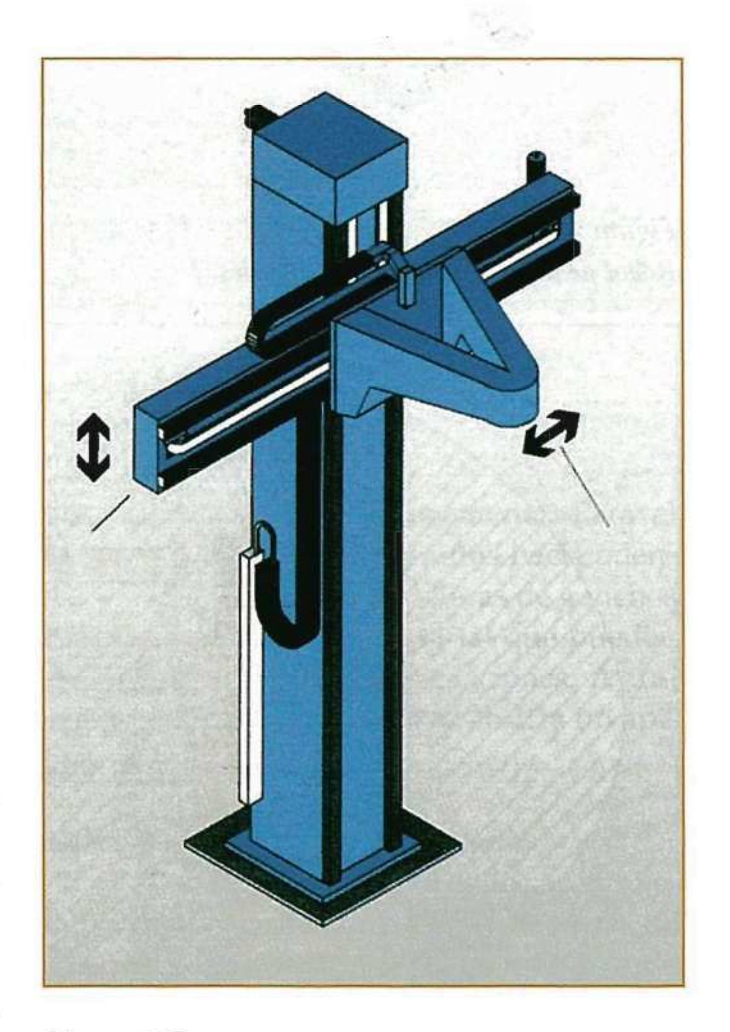


Figura 109e
Robot de operación lineal con dos ejes

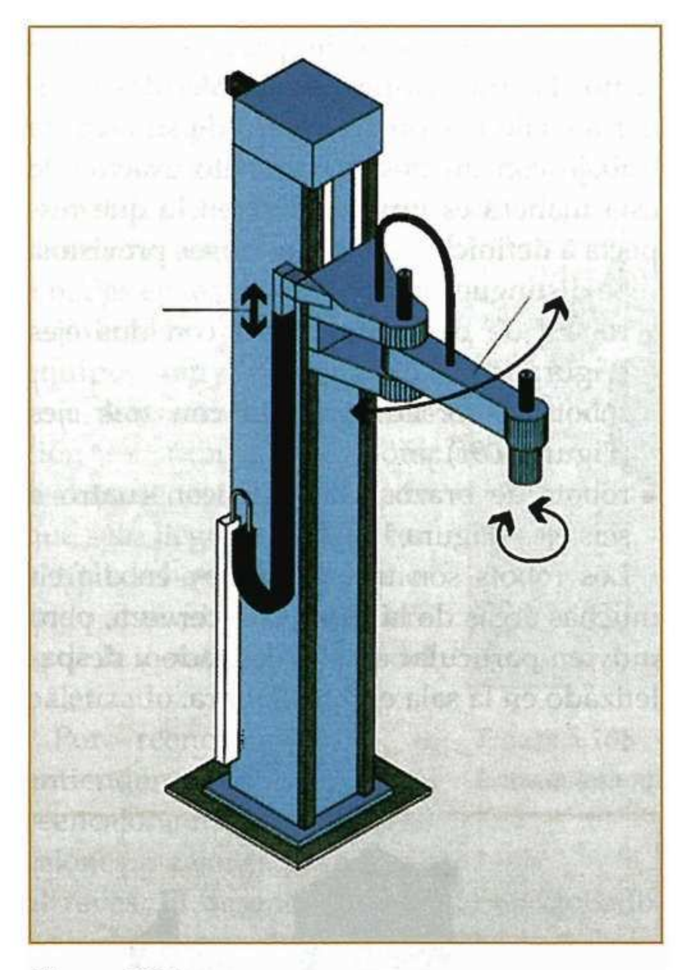


Figura 109f
Robot de brazo giratorio con tres ejes

5.7.5.2 Construcción y funcionamiento de los equipos de paletizado y despaletizado

Los distintos equipos de paletizado y despaletizado difieren en muchos detalles. La Figura 5.110 muestra el diseño básico de un despaletizador:

El núcleo del equipo es primeramente un bastidor de máquina, que puede estar diseñado con una sola columna o como pórtico. En él se encuentra ubicado un dispositivo de elevación con un dispositivo de rotación para el cabezal de carga, que sostiene el cabezal sujetador de capa. El cabezal sujetador de capa, sobre el cual entraremos enseguida más en detalle, sujeta la capa de contenedores.

La paleta llena es acercada sobre la pista de rodillos y se la inmoviliza. El cabezal de agarre es acercado –hoy en día, generalmente por un robot de varios ejes– y extrae una capa tras otra y las coloca sobre la cinta que entrega ahora las unidades de embalaje, de forma selectiva fila por fila, a la salida de contenedores. De esta manera, la paleta es

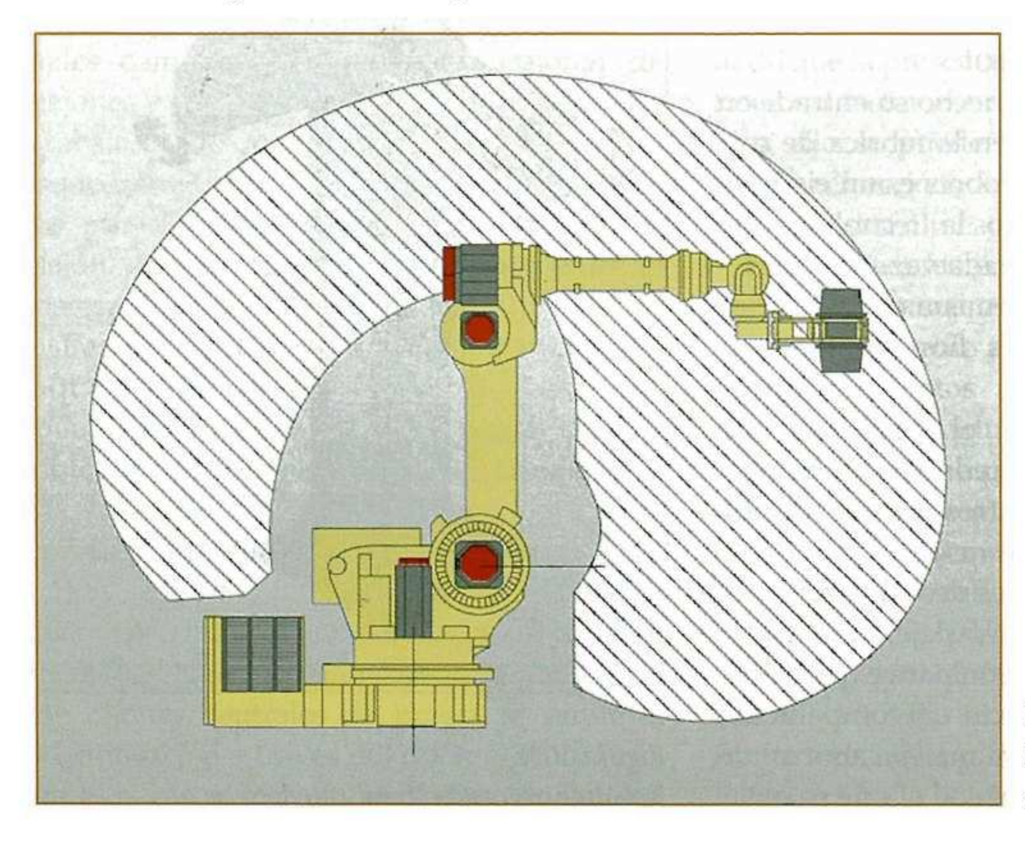


Figura 109g
Robot de brazo articulado con seis ejes

descargada capa por capa y se la puede continuar transportando al depósito de paletas.

Pero este modelo de funcionamiento sólo trabaja así en principio. Las exigencias en las diferentes plantas son tan variadas que no puede establecerse una norma uniforme. Así, el dispositivo de elevación con el bastidor de elevación y el accionamiento elevador puede estar diseñado de diferentes formas y el mecanismo de traslación horizontal con el dispositivo de giro y de desplazamiento –con y sin telescopio– puede ser operado por un mecanismo de manivela.

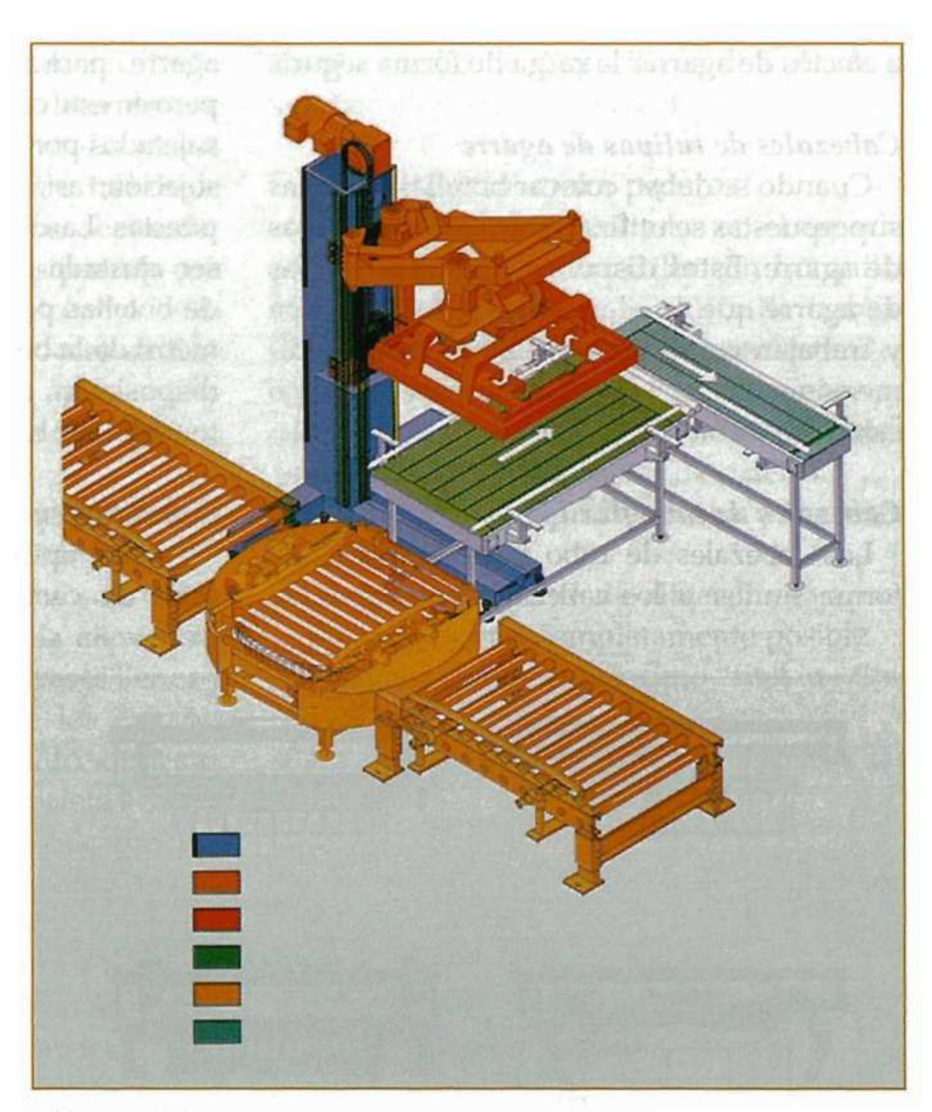


Figura 5.110
Paletizador por capas (Vista general de subgrupos)

Las plataformas de desplazamiento de las unidades de embalaje están desarrolladas como placa o como alfombra de rodillos. La paleta de carga es apropiada en esto para el procesamiento de embalajes no retornables y embalajes retornables, y tiene una superficie de desgaste texturada e intercambiable.

Los cabezales de carga son un capítulo muy particular de los paletizadores. Los cabezales de carga están unidos al dispositivo de elevación y son

- girados o
- empujados.

Los cabezales de carga tienen una conformación correspondiente según las unidades de embalaje a ser tomadas (Figura 5.111):

Cabezales de agarre tipo gancho

Los cabezales de agarre tipo gancho están equipados con ganchos girables hacia adentro y accionados neumáticamente. Para el agarre, los ganchos son girados hacia adentro y toman la carga. Las hileras de ganchos están dispuestas de manera tal que pueden ser tomadas diferentes formaciones. A través de un marco centrador se realiza un apilado perfecto.

Cabezales de sujetadores de capas

Los cabezales de sujetadores de capas sujetan la capa apretándola a través de pinzas de sujeción cubiertas de goma con cilindros de carrera corta guiados paralelamente y previenen así una caída. El cabezal puede ser ajustado a la formación de dos o de cuatro lados

a efectos de agarrar la carga de forma segura.

Cabezales de tulipas de agarre

Cuando se deben colocar botellas en capas superpuestas se utilizan cabezales de tulipas de agarre. Éstos disponen de tantas tulipas de agarre que pueden levantar toda la capa y trabajan como una embaladora sobredimensionada. En este caso no hay cajones o cajas de cartón.

Cabezales de tubo flexible

Los cabezales de tubo flexible sirven, de forma similar a los cabezales de tulipas de agarre, para superponer botellas en capas, pero en este caso los cuellos de las botellas son sujetados por inflado de los tubos flexibles de sujeción; así, las botellas pueden ser superpuestas. La división de tubos flexibles puede ser ajustada a la correspondiente formación de botellas por medio de plantillas si el diámetro de la botella, la forma de la botella y la disposición de las botellas permiten una tomada por hileras.

Cabezales succionadores

Para el apilado y desapilado de capas de cajas de cartón se utilizan frecuentemente cabezales succionadores. Por medio de la succión, con ayuda de una serie de ventosas, se pueden elevar recipientes cerrados; por ejemplo, capas de cajas de cartón o también otros contenedores de gran superficie, capa por capa.

Cabezales magnéticos

Para la elevación y superposición de recipientes de chapa de acero se utilizan cabezales magnéticos; esto es también posible para la superposición de latas de acero, las cuales son protegidas de esta manera, sobre todo teniendo en cuenta que las latas de acero vacías son extremadamente sensibles a causa de su espesor de pared delgado.

Cabezales cargadores de kegs

También los kegs deben ser paletizados y despaletizados. En el caso del cabezal cargador de kegs, la capa

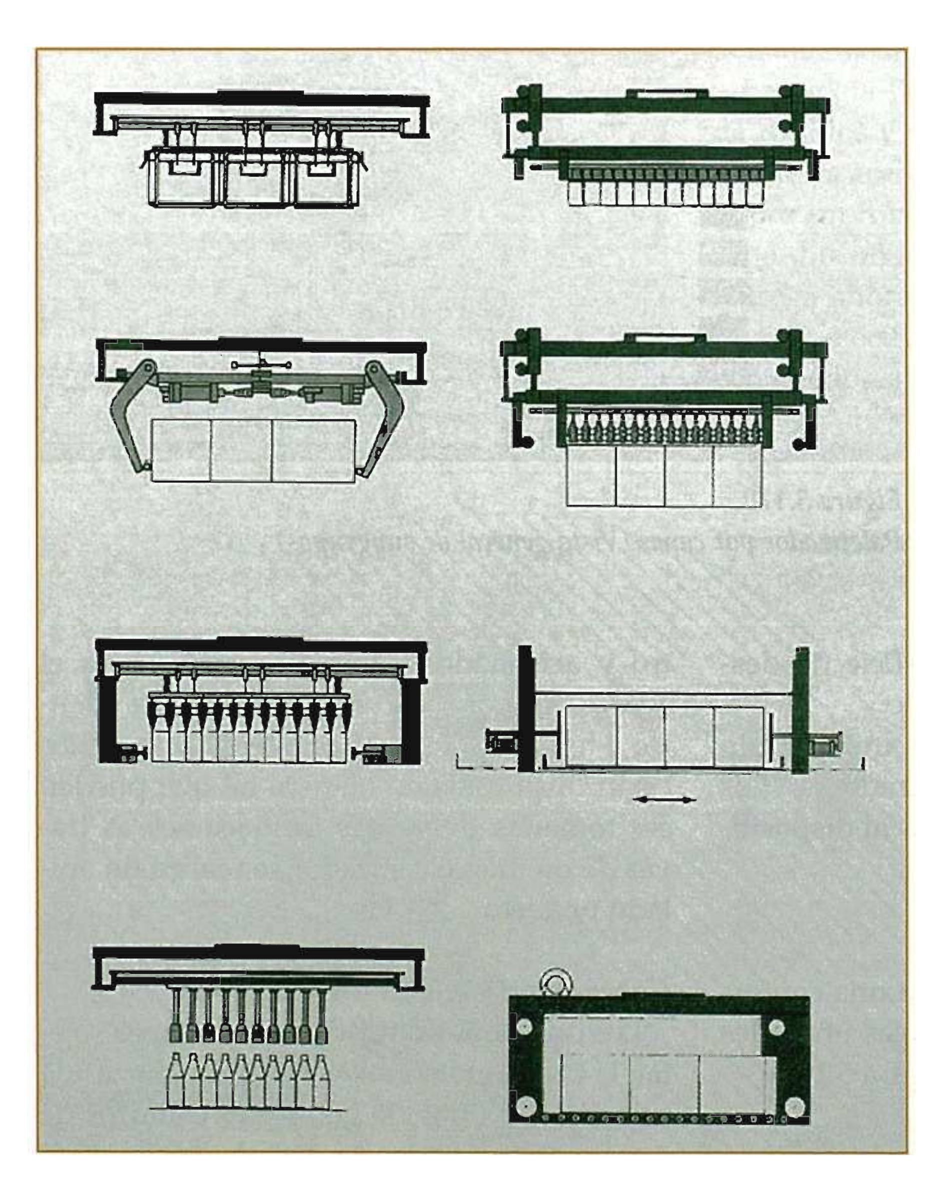


Figura 5.111
8 cabezales de carga para paletizar/despaletizar

puesta a disposición es agarrada en unión positiva por medio de barras laterales de sujeción que rotan hacia adentro. La paleta portadora puede ser arrastrada a través de dedos de sujeción controlados separadamente. Esta forma de trabajo es posible con kegs tanto en posición vertical como horizontal. En dependencia del proceso de trabajo se dispone de sistemas de agarre apropiados para la carga y descarga de kegs.

5.7.5.3 Equipos de apilado para paletas con envases llenos

Las paletas con envases llenos son tomadas por carretillas con horquilla elevadora, transportadas al almacén de envases llenos y apiladas allí. El transporte de los envases vacíos se desarrolla en sentido opuesto. También es posible apilar las paletas cargadas una sobre otra en dos o tres capas por medio de un dispositivo automático de apilado de paletas.

En esto, la paleta cargada entra a nivel del suelo en el apilador a través de un segmento de vía de rodillos o de transportador de cadena sinfín. Un marco de elevación con uñas de sujeción desciende y agarra la paleta. Luego, la paleta es elevada por un elemento elevador y descendida sobre la siguiente paleta, que entretanto ha sido introducida en el apilador. En el caso de apilado en tres capas, el proceso se repite. La salida de la pila de paletas ocurre a través de un segmento de rodillos o de cadena sinfín.

En el desapilador, los procesos se repiten análogamente en orden inverso.

5.7.5.4 Equipos de transporte para paletas

Las paletas con envases llenos y con envases vacíos son transportadas por carretillas de horquilla elevadora y son depositadas en espacios para paletas o se las retira de éstos para procesamientos ulteriores. Desde allí, las paletas son llevadas a la posición deseada por medio de dispositivos de entrada y salida.

5.7.5.5 Espacios para paletas

Las paletas son depositadas en el espacio para paletas por la carretilla con horquilla elevadora y llevadas a la altura de trabajo del dispositivo de salida. De acuerdo con las condiciones y exigencias muy distintas se ofrecen para ello equipos muy diferentes para elevación y transporte de paletas.

Las paletas son apiladas en los almacenes de manera tal que

- el espacio existente de almacén sea aprovechado lo más completamente posible,
- esté garantizado el principio "first in - first out" y
- sea posible una buena accesibilidad a las paletas.

En los espacios de apilado de paletas son usuales:

- almacenes de apilado en bloque,
- almacenes de estantes elevados,
- almacenes de transición y otros.

En el marco de este libro se debe prescindir de una descripción de los detalles respecto del diseño de estos almacenes.

5.7.5.6 Dispositivos de entrada y de salida

Tienen gran importancia la entrada y la salida de forma ordenada y rápida de los contenedores hacia y desde los dispositivos de paletizado. La entrada o la salida de los contenedores ocurre sobre una, dos o tres pistas, en dependencia del rendimiento horario. Según la formación, se controlan a través del programa dispositivos integrados o externos de rotación de contenedores o formadores de huecos y unidades de guía.

También en las secuencias son posibles muchas combinaciones. En el transporte de contenedores se han impuesto progresiva y exitosamente las bandas de plástico.

5.7.5.7 Depósitos de paletas

Tal como ocurre con los cajones, también es necesario un almacenamiento intermedio de las paletas en un depósito correspondiente hasta que los primeros cajones aparezcan nuevamente llenos y tengan que ser paletizados.

5

En el depósito de paletas se apilan hasta 15 paletas vacías una sobre otra. En el apilado, las paletas vacías ingresantes suben al dispositivo transportador de paletas, que puede ser movido hacia arriba o hacia abajo. Las paletas vacías ya presentes son elevadas y descendidas sobre la paleta ingresante. Este proceso se repite hasta que un sensor limita la altura máxima de apilado.

5.7.5.8 Control de paletas

La superficie plana de la paleta es un criterio importante para el asiento estable de las unidades de embalaje. Sin embargo, las tablas de la cara superior de la paleta están también expuestas a una fuerte solicitación, donde las tablas pueden ser debilitadas sensiblemente, en particular debido a agujeros de nudos e imperfecciones encubiertas, por lo cual se pueden producir daños de transporte. Es por eso que se controlan las tablas y los tacos exteriores de las paletas respecto de su funcionabilidad, su cantidad completa y su resistencia. Este ensayo se realiza a través de rodillos o émbolos.

Control de paletas por medio de rodillos

En este control, los rodillos son guiados a lo largo de las tablas de cubierta y los daños se comprueban por medio de palancas de control. Se controlan además los tacos externos, la altura y la longitud de paleta, y así se pueden separar paletas que no corresponden a la norma.

Control de paletas por presión

En el control de paletas por presión se comprueban daños en la paleta por medio

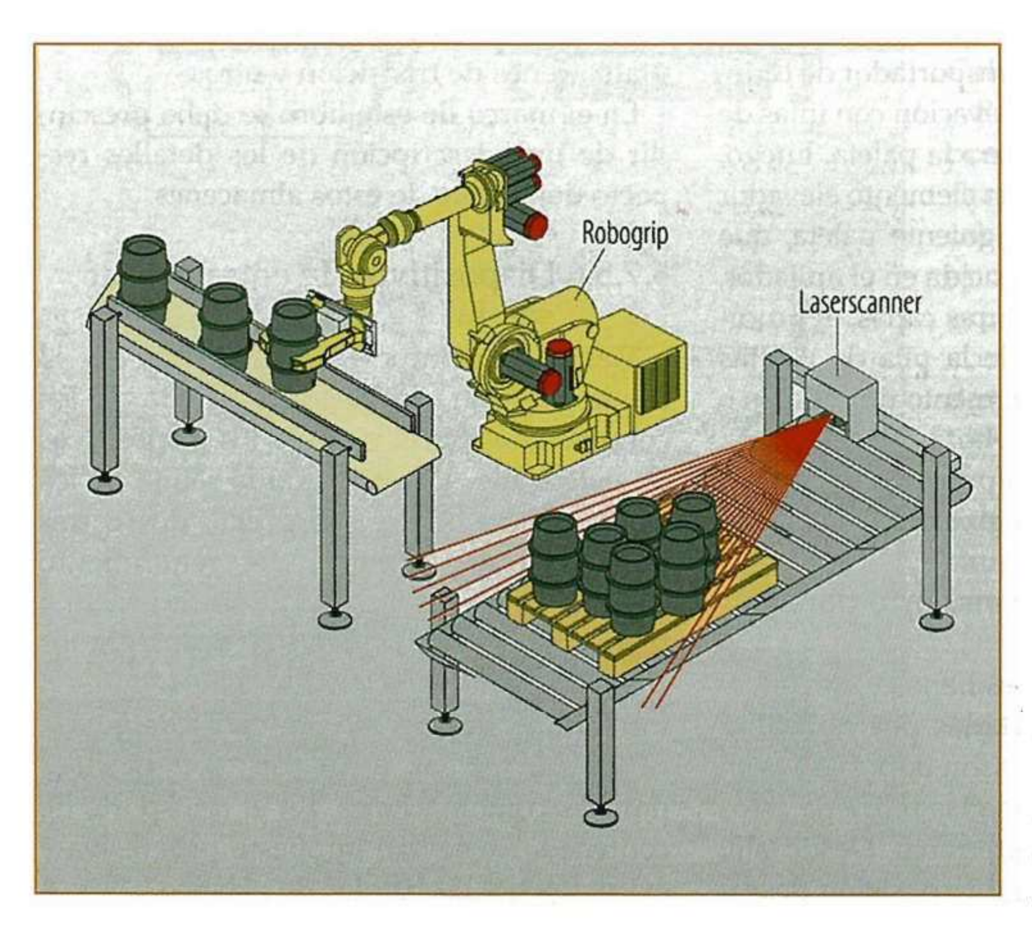


Figura 5.111a
Carga de una paleta por medio de un robot de brazo articulado; control a través de un escáner

de émbolos que presionan sobre las tablas de la paleta. También aquí se controlan además los tacos externos, la altura y la longitud de paleta.

5.7.5.9 Aseguramiento de las paletas

Con el aumento de altura de apilado disminuye la estabilidad, en particular cuando las unidades de embalaje no son colocadas en forma encajada, tal como es frecuentemente usual en el caso de cajas de cartón. Los cajones están estabilizados entre sí, de forma tal que el fondo del cajón encastra en la abertura del cajón que se encuentra debajo. Pero no están estabilizados con respecto al cajón vecino. Por ello, las columnas adyacentes no están estabilizadas una contra la otra. La paleta llena es asegurada de forma tal que

- se tensa en la parte superior una banda de plástico fuerte y no extensible o una cuerda alrededor de una capa, o
- se envuelve la paleta con una película que es soldada.

Las envolturas con película son usuales, en particular en el caso de suministros de vidrio nuevo o de latas vacías, así como con paletas con bandejas y unidades de embalaje más fáciles de desplazar. Las películas protegen contra el polvo, de manera que también se envuelven cajones en caso de necesidad.

Las películas pueden envolver como películas elásticas o se las usa para envolver y se las contrae para formar unidades de carga rígidas.

Los cartonajes son fijados en parte por medio de agentes antideslizantes pulverizados sobre aquellos.

5.7.5.10 Paletizado en el llenado de barriles

La técnica de robots también ha llegado al envasado en barriles. Así (Figura 5.111a), el aumento de carga de la paleta es registrado por un escáner por rayo láser y la información es transmitida al robot.

5.8 Planta completa de envasado

Con todos su equipos necesarios de transporte y espacios de apilado, la planta de envasado es por lejos la instalación más grande, más cara y la que más esfuerzo laboral requiere en toda la fábrica de cerveza (Figuras 5.112 y 5.113). De su disposición, del diseño y de los caminos de transporte depende el desarrollo del proceso sin dificultades dentro de toda la planta. Para ello, las máquinas de la planta de envasado deben ser acopladas entre sí de manera eficiente y coordinadas una con la otra, en lo referente a su capacidad de rendimiento, a los efectos de asegurar una operación que sea generalmente sin dificultades aun en el caso de que se presenten fallas.

En el marco de este libro nos interesan en particular:

- posibilidades en lo referente a la disposición de las máquinas,
- graduación del rendimiento de las máquinas en la planta de envasado e
- indicaciones respecto de reglamentaciones y recomendaciones para el establecimiento y la operación de plantas de envasado.

Posibilidades en lo referente a la disposición de las máquinas

Los desarrollos de procesos en la planta de envasado están caracterizados por tres circuitos (Figura 5.114):

En el trayecto a través del almacén de envases vacíos, las paletas son puestas a disposición y son despaletizadas, controladas y almacenadas en depósito, antes de ser cargadas nuevamente y, a través del almacén de envases llenos, ser suministradas al comercio.

Luego del despaletizado, los cajones son desencajonados y lavados, y quedan en el depósito de cajones a la espera del nuevo encajonado y del control antes de ser paletizados nuevamente.

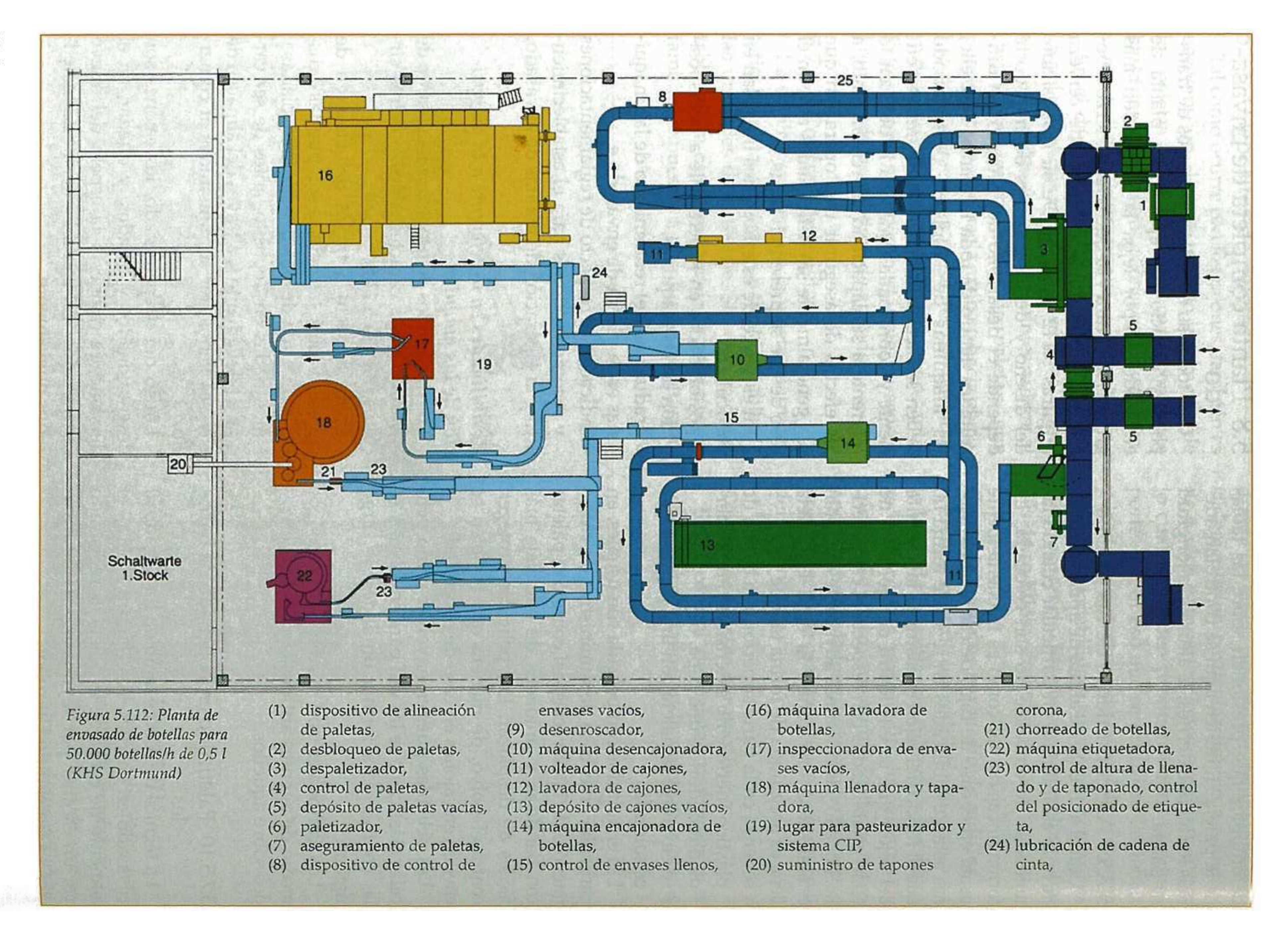


Figura 5.112: Planta de envasado de botellas para 50.000 botellas/h de 0,5 l (KHS Dortmund)

(1) dispositivo de alineación de paletas,
(2) desbloqueo de paletas,
(3) despaletizador,
(4) control de paletas,
(5) depósito de paletas vacías,
(6) paletizador,
(7) aseguramiento de paletas,
(8) dispositivo de control de envases vacíos,
(9) desenroscador,
(10) máquina desencajonadora,
(11) volteador de cajones,
(12) lavadora de cajones,
(13) depósito de cajones vacíos,
(14) máquina encajonadora de botellas,
(15) control de envases llenos,
(16) máquina lavadora de botellas,
(17) inspeccionadora de envases vacíos,
(18) máquina llenadora y tapadora,
(19) lugar para pasteurizador y sistema CIP,
(20) suministro de tapones corona,
(21) chorreado de botellas,
(22) máquina etiquetadora,
(23) control de altura de llenado y de taponado, control del posicionado de etiqueta,
(24) lubricación de cadena de cinta,

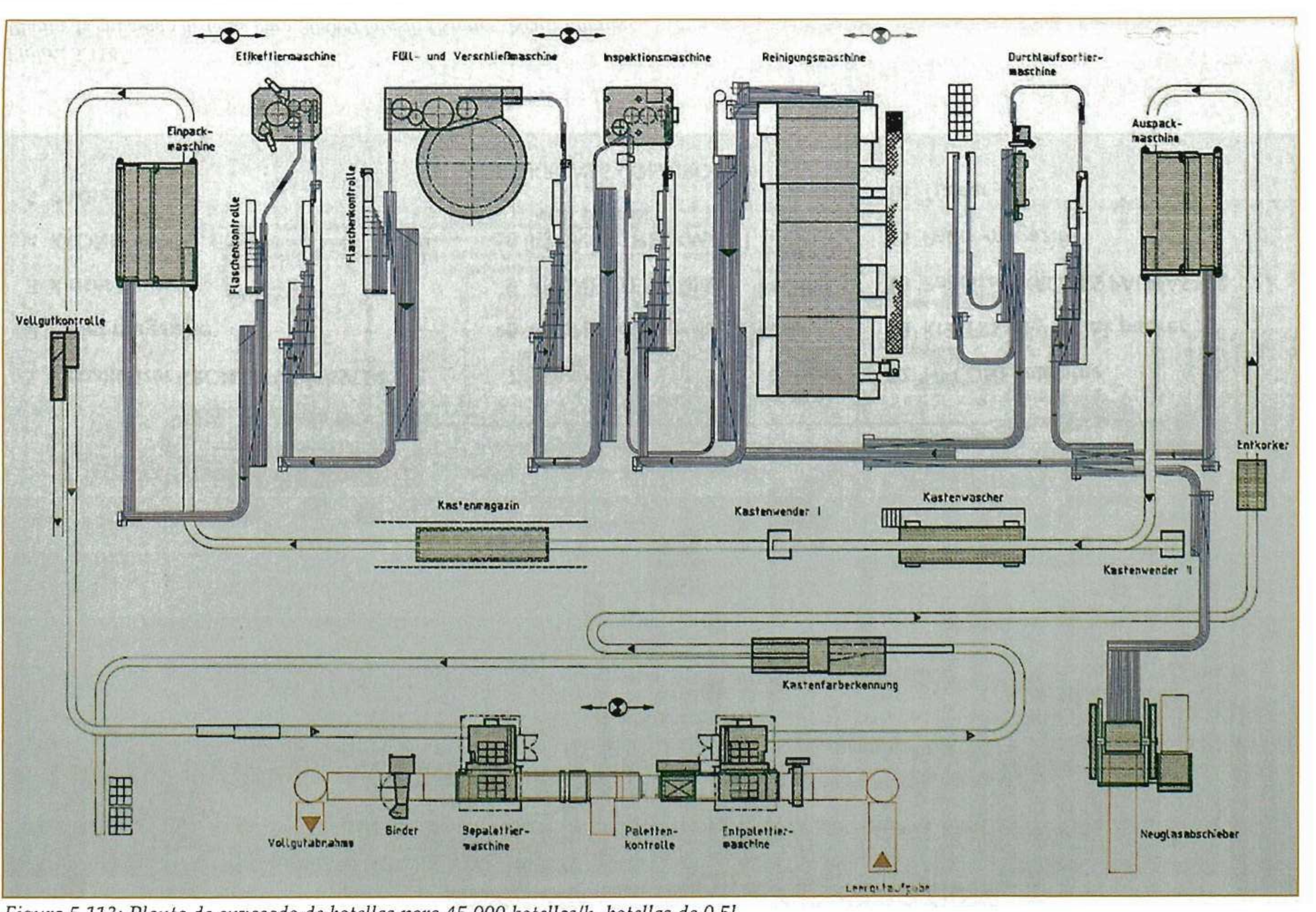


Figura 5.113: Planta de envasado de botellas para 45.000 botellas/h, botellas de 0,5l
(TU München-Weihenstephan; Cátedra para Instalaciones Cerveceras y Tecnología de Embalaje de Alimentos)

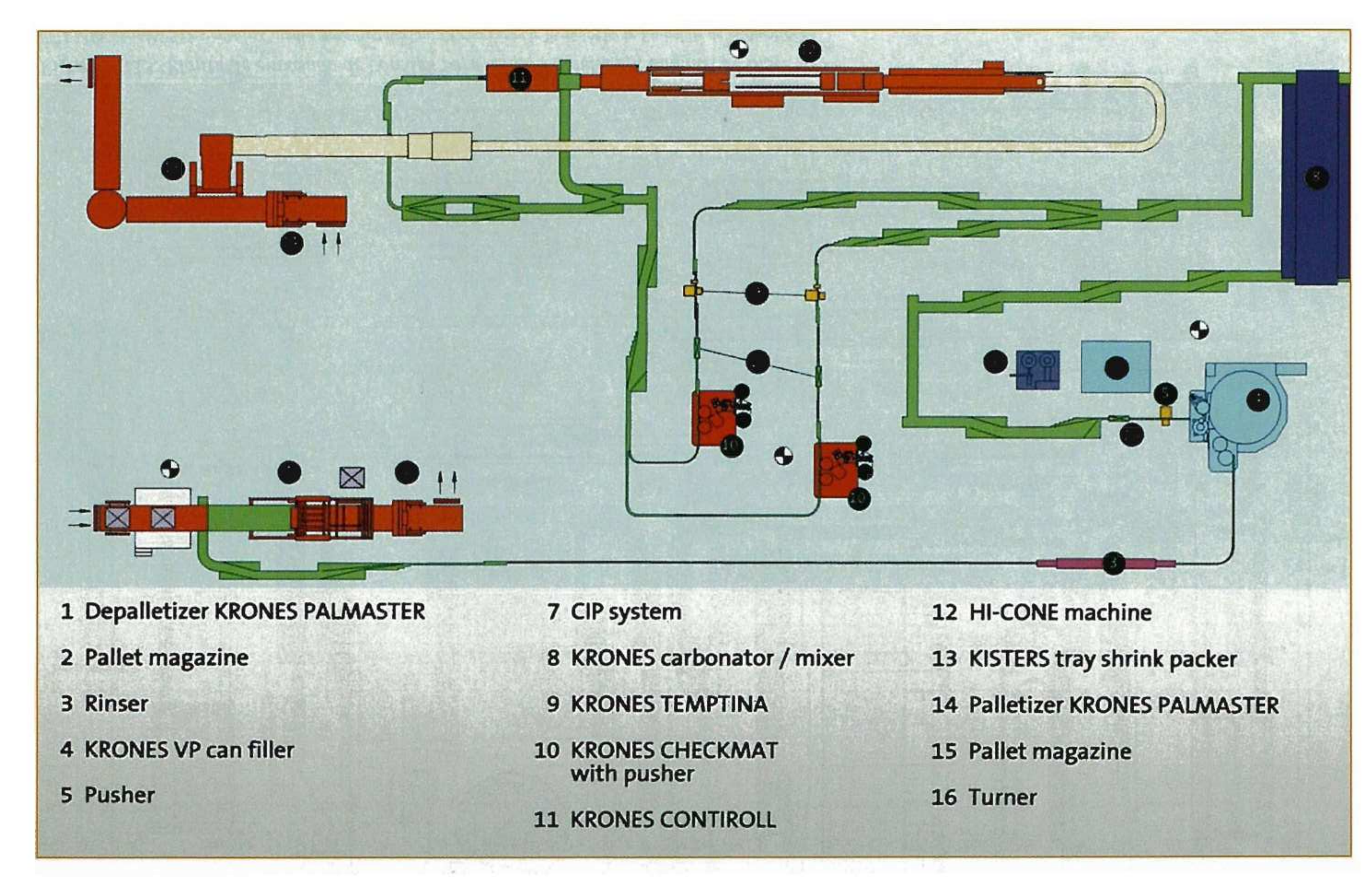


Figura 5.114
Planta de envasado de latas para 90.000 latas/h (Krones, Neutraubling)

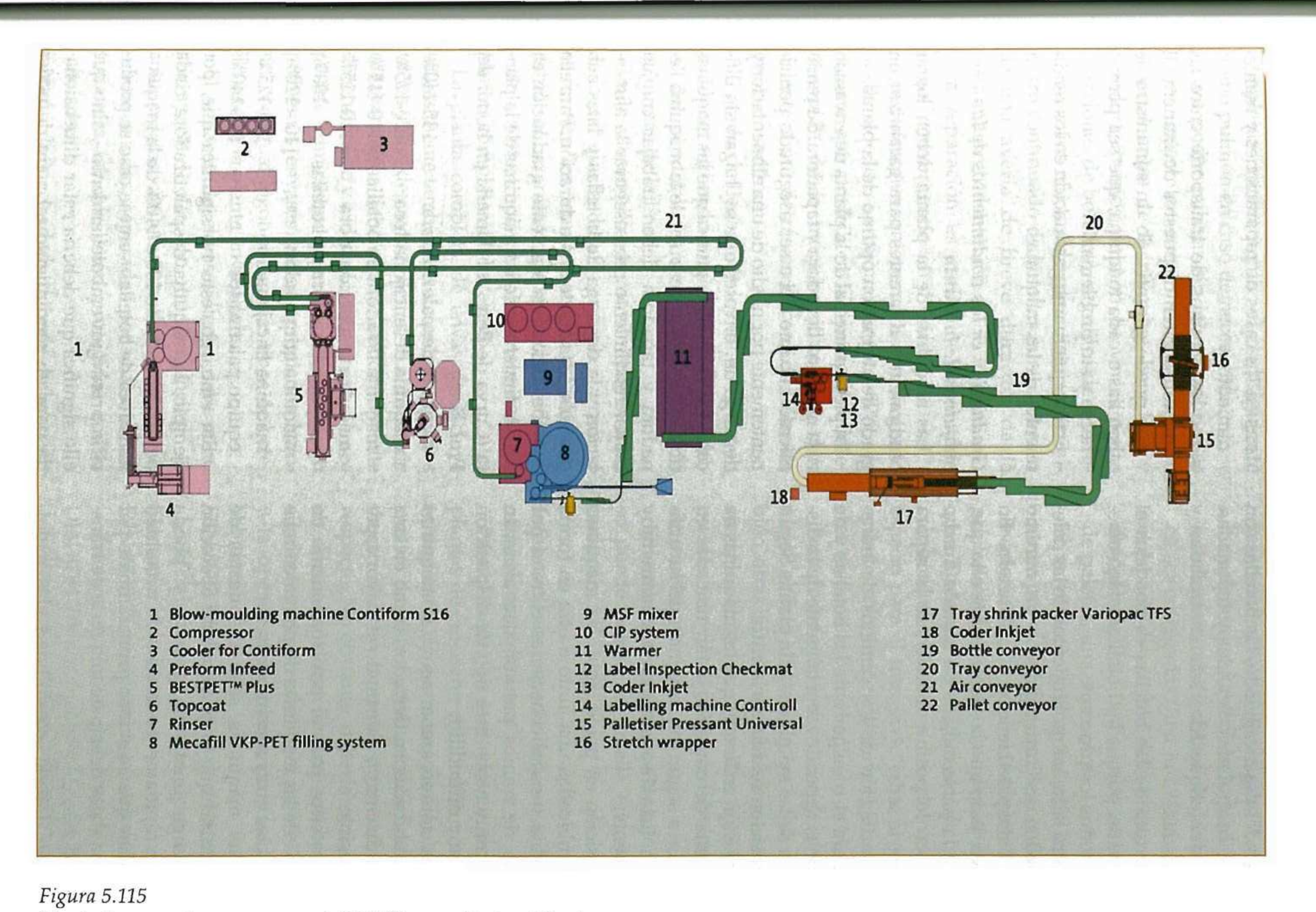


Figura 5.115
Planta de envasado para envases de PET (Krones, Neutraubling)

5

Luego del desencajonado, las botellas son lavadas, controladas, llenadas y taponadas. Luego del etiquetado, son controladas y encajonadas.

El circuito de las botellas es por lejos el más grande, porque las botellas están sometidas a todos los procesos.

Por otro lado, los movimientos de las paletas pueden ser restringidos a un mínimo entre el despaletizado y el paletizado. En esta área, todo queda seco y es por ello que, frente a la parte mojada de tamaño mucho mayor, en lo posible también se la separa como parte seca.

La conducción de los caminos de transporte para el transporte de las botellas y de los cajones depende esencialmente de la disposición de las máquinas de la planta. Según la disposición se diferencia entre:

- disposición en línea: aquí, las máquinas de la planta de envasado están ubicadas en una línea según las secuencia de su utilización. Esta disposición se encuentra muy raramente;
- disposición en peine: aquí, las máquinas están ubicadas una junto a otra en forma de peine y están conectadas entre sí por medio de tramos pulmón que alcanzan hasta muy atrás. Este tipo de disposición está muy difundido;
- disposición en arena: aquí, las máquinas están ubicadas en derredor, como en una arena de circo, y ahorrando el mayor espacio posible.

Los criterios para el posicionamiento de cada una de las máquinas de planta en relación con las otras son en particular

- que las máquinas sean dispuestas de manera tal que el personal de operación mantenga una vista general y pueda actuar rápidamente en caso de necesidad sin tener que atravesar primeramente por encima o por debajo de una serie de transportadores,
- que esté dada la accesibilidad a las máquinas en los casos de reparaciones y mantenimiento, y
- que los caminos de transporte entre las máquinas estén dispuestos de manera tal que quede garantizado un suministro de botellas a cada máquina, que sea permanente y sin problemas.

Esto requiere una graduación en los rendimientos de las máquinas.

Graduación en los rendimientos de las máquinas de la planta

Las máquinas de la planta deben lograr rendimientos diferentes para garantizar un grado de utilización óptimo de la planta.

La pieza principal de la planta de envasado es la máquina llenadora y tapadora. Su rendimiento máximo debe ser asegurado permanentemente por medio de una alimentación y descarga de envases que se hagan sin dificultades. Pero esto significa que las máquinas ubicadas antes y después de la máquina llenadora y tapadora deben trabajar con un mayor rendimiento para asegurar la alimentación y la descarga de botellas y latas aun después de fallas de breve duración. Para ello se debe calcular la siguiente graduación en los rendimientos de las máquinas de la planta (Curva de Berg, así llamada en honor del Prof. Berg):

máquina despaletizadora	135-140%
máquina desencajonadora	120-125%
máquina lavadora de botellas	110-115%
máquina inspeccionadora	110-115%
máquina llenadora de botellas	100%
máquina etiquetadora	110 - 120%
máquina encajonadora	120-125%
equipo paletizador	135-140%

Sin embargo, esto no significa que, por ejemplo, la máquina despaletizadora rinda permanentemente 135 a 140% de la máquina llenadora de botellas –en ese caso se produciría pronto un embotellamiento–, sino que ello significa que debería estar dimensionada para un rendimiento tal a fin de poder

completar nuevamente el subsiguiente tramo pulmón en caso de necesidad.

Para poder trabajar sin interrupciones se deben intercalar entre las máquinas, en especial antes de la máquina llenadora y tapadora, tramos pulmón de varias pistas (estaciones de botellas), seguidos de separadores, a los efectos de garantizar un suministro continuado de botellas aun en el caso de una avería de breve duración de la máquina precedente.

La separación es realizada sobre todo como "convergencia sin presión".

Los pulmones son operados con un grado de llenado de aproximadamente 50%, de manera que posibiliten la operación ininterrumpida de la máquina intercalada por delante o por detrás en el caso de fallas de breve duración.

El grado de llenado de los tramos pulmón puede ser utilizado para el control automático del rendimiento de cada una de las máquinas de la línea.

En los desarrollos de movimiento se trata de lograr que las botellas no giren y que no se formen los temidos anillos de scuffing, debido al rozamiento de las botellas entre sí.

Se han mostrado ejemplos interesantes de plantas completas de envasado.

La planta completa de envasado incluye naturalmente también un almacén de envases vacíos y uno de envases llenos. El almacén de envases vacíos debe estar lo suficientemente dimensionado y ordenado, de manera que sea posible suministrar permanentemente y sin problemas envases vacíos apropiados (cajones con igual logotipo, iguales tipos de botellas, etc.) a la planta envasadora.

El almacén de envases llenos debe cumplir, aparte de ello, con otras exigencias:

- las paletas con envases llenos deben ser almacenadas, separadas por variedad, de manera tal que estén protegidas contra heladas,
- según la necesidad, debería haber una reserva de envases llenos para 2 a 3 días,
- las paletas que fueron almacenadas en primer lugar también deben ser las primeras en ser entregadas (first in-first out),
- el espacio disponible debe ser aprovechado óptimamente (apilado de varias capas de paletas, una sobre otra).

El movimiento y el apilado de las paletas ocurren por medio de carretillas con horquilla elevadora. Por lo general, los almacenes de paletas son dispuestos como depósitos en bloques. Dado que los conductores de carretillas con horquilla elevadora necesitan suficiente espacio para el transporte y los procesos de apilado, sólo puede utilizarse el 50 a 60% del área disponible para el apilado en bloque.

Para poder aprovechar considerablemente mejor el área disponible, se erigieron también otras formas de almacenamiento; por ejemplo, almacenes elevados, que también pueden manejar el principio first in-first out sin problemas.

Sin embargo, en el marco de este libro no se puede entrar en detalle en este vasto campo.

Informaciones respecto de Normas DIN y otras recomendaciones

Para el montaje y la puesta en servicio de plantas de envasado en botellas existe aparte una serie de normas, valores empíricos, puntos de vista y conclusiones. En el marco de este libro no se puede entrar en detalles al respecto. No obstante, debería indicarse que en Alemania deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones para el montaje y la operación de plantas envasadoras de bebidas:

DIN 8782 *Técnica de envasado de bebidas*
- Términos para plantas de envasado y equipos individuales

DIN 8783 *Técnica de envasado de bebidas*
- Ensayos en plantas de envasado

DIN 8784 *Técnica de envasado de bebidas*
- Indicaciones mínimas e indicaciones refe-

ridas a órdenes de compra
DIN 55405
- Términos para la tecnología de embalaje

Condiciones Técnicas de Suministro Especiales (en alemán: STLB) para

- etiquetas,
- tapones corona,
- botellas de cerveza,
- latas de cerveza,
- cajones de cerveza.

Son bases legales, entre otras:

- La Ley Federal de Protección contra Inmisiones (en alemán: BImSchG),
- la Ley relativa al Reciclaje y a los Residuos,
- la Ley de Administración de Aguas,
- la Directiva Técnica referente a Ruidos (en alemán: TA Lärm),
- la Directiva Técnica referente al Aire (en alemán: TA Luft),
- el Reglamento de Embalajes destinados al Consumidor Final,
- la Ley de Responsabilidad sobre los Productos,
- las Reglamentaciones de Prevención contra Accidentes (UVV) pertinentes y
- las Informaciones de Seguridad Laboral (Disposiciones ASI) de la BG Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN)

¡Por supuesto que los fundamentos legales nombrados también son importantes para las otras secciones de la fábrica de cerveza y de la maltería! Aun cuando estas leyes y disposiciones no tengan vigencia en otros países, se debería prestar atención a su competencia como directiva.

5.9 Merma de cerveza

Al final del proceso de fabricación y envasado está naturalmente la cuestión del rendimiento o de las pérdidas durante todo el proceso. La primera parte –el rendimiento– ya la hemos determinado en la sala de cocción. Pero posteriormente, por supuesto, también se producen pérdidas. De 100 hl de mosto caliente naturalmente no se obtienen 100 hl de cerveza, sino, seguramente, algo menos, porque también luego del bombeo de mosto caliente se producen pérdidas de mosto y de cerveza, que denominamos merma (pérdida).

Por merma de cerveza se entiende la diferencia entre el volumen de bombeo de mosto caliente y la cantidad de cerveza vendida que ha sido producida a partir de ello. La merma se indica en porcentaje del volumen de bombeo de mosto caliente; es una cifra de control interno de fábrica muy importante, de la cual se puede deducir cuán bien o mal se ha trabajado.

Pero nadie es capaz de realizar exactamente el seguimiento cuantitativo del cocimiento desde la sala de cocción hasta las botellas o kegs, dado que, debido a repetidos procesos de mezclado durante la producción, ya no es posible separar cuantitativamente los cocimientos.

Es por ello que se controla la merma, usualmente, dentro de un período de un mes –o inclusive de un día– y separadamente según el tipo de cerveza.

En empresas modernas, los datos necesarios pueden ser registrados electrónicamente y llamados de memoria en todo momento. La determinación ocurre aquí diariamente por tipo de cerveza. Pero el principio básico es siempre igual que en nuestro ejemplo, que cubre un período considerablemente más prolongado, con el registro mensual debido a motivos históricos.

Los valores del volumen de bombeo, que fueron producidos en nuestra fábrica de cerveza en el término de un mes, están registrados, separados por tipo de cerveza, en el informe y en el libro de cocimientos y pueden ser consultados fácilmente. En las fábricas de cerveza de mayor tamaño, el cálculo siguiente se realiza naturalmente por ordenador.

Sin embargo, algunas consideraciones

para el cálculo de la cantidad de cerveza de venta producida son necesarias para reconocer las relaciones.

5.9.1 Cálculo de cerveza de venta producida

Si deseamos determinar la cantidad de cerveza de venta producida en el mes de ejercicio –por ejemplo en mayo–, podemos asumir que

- la cantidad de cerveza vendida en mayo (incluyendo la consumida por el personal de fábrica) y
- la cantidad en existencia a fines de mayo fueron producidas en el mes de mayo si se descuenta de ello
- la cantidad de cerveza ya existente a fines de abril, dado que esta última evidentemente ya fue producida previamente.

Es por ello que la cantidad de cerveza de venta producida en el mes de ejercicio mayo se calcula de la siguiente manera:
venta de cerveza (incluyendo la consumida por el personal de fábrica) en mayo
+ existencia de cerveza a fines de mayo (último día del mes)
- existencia de cerveza a fines de abril (último día del mes previo)

Ejemplo:

existencia (31 de mayo)	9478,55 hl
+ venta de cerveza en el mes de ejercicio mayo	21.240,00 hl
	30.718,55 hl
- existencia en el último registro de existencias (30 de abril)	8640,55 hl
cantidad de cerveza de venta producida en el mes de ejercicio	22.078,00 hl

Para poder efectuar estos cálculos deben realizarse registros de existencias cada último día del mes.

5.9.2 Registro de existencias y conversión a cerveza de venta

El registro de existencias consiste en determinar exactamente las existencias completas de cerveza, separadas por tipo de cerveza.

El registro se realiza separadamente según las existencias:

en la cava de fermentación; en el caso de tanques cilindrocónicos, en los tanques,
en la bodega de maduración y
en el despacho (cerveza en barriles y en botellas).

Las cantidades de cerveza registradas deben ser convertidas a cerveza de venta. La conversión se hace según el contingente de mermas determinadas empíricamente.

La merma total está dividida en contingentes de merma parciales. Los contingentes de merma para cada tipo de cerveza son determinados separadamente.

Ejemplo:

En una fábrica de cerveza, la merma y la merma parcial para un tipo de cerveza son:

merma total	10,3%
merma parcial desde sala de cocimiento hasta bodega de maduración	8,6%

El registro de existencias dio como resultado 2430 hl de cerveza de ese tipo en la bodega de maduración. ¿A qué cantidad de cerveza de venta corresponde esto?

Sería equivocado restar de los 2430 hl de cerveza en reposo 10,3% - 8,6% = 1,7%, dado que el 1,7% no está referido a los 2430 hl como valor base. Es más bien necesario considerar lo siguiente:

de 100 hl de mosto caliente se obtienen con la merma mencionada
91,4 hl de cerveza en la bodega de maduración y de éstos se obtienen
89,7 hl de cerveza de venta.

De acuerdo con esto, la cantidad (2430 hl) comprobada en la bodega de maduración se obtuvo de

$$\frac{2430 \text{ hl} \cdot 100\%}{91{,}4\%} = 2658{,}6 \text{ hl de mosto caliente}$$

De este volumen de bombeo de mosto caliente se obtienen con esta merma

$$\frac{2658{,}6 \text{ hl} \cdot 89{,}7\%}{100\%} = 2384{,}8 \text{ hl de cerveza de venta.}$$

De acuerdo con esto, la conversión puede ser resumida en la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Cantidad en existencia } 2430 \text{ hl} \cdot 89{,}7\%}{91{,}4\%} = 2384{,}8 \text{ hl de cerveza de venta}$$

Se debe proceder análogamente al convertir las cantidades que se encuentran en la cava de fermentación a cerveza para venta, donde naturalmente se deben utilizar los correspondientes contingentes de merma en la fábrica para los correspondientes tipos de cerveza.

En general, vale entonces:

$$\text{cantidad de venta} = \frac{\text{cantidad en existencia} \cdot (100\% - \text{merma total})}{100\% - \text{merma parcial}}$$

Esto se muestra en el siguiente ejemplo:

Una fábrica de cerveza comprobó las siguientes cantidades de cerveza normal en la fábrica durante un registro de existencias:

en la cava de fermentación	1420,00 hl
en la bodega de maduración	8174,00 hl
en el depósito de barriles	210,00 hl
en el depósito de botellas llenas	32,00 hl

Para ese tipo de cerveza se comprobaron los siguientes contingentes empíricos de merma en la fábrica de cerveza:

Cantidad	Merma desde sala de cocción en %	Conversión a cantidad de cerveza de venta
volumen de bombeo	0	$\frac{\text{volumen de bombeo} \cdot 89{,}7\%}{100\%}$
cantidad de inicio de fermentación	6,5	$\frac{\text{cantidad de inicio de fermentación} \cdot 89{,}7\%}{93{,}5\%}$
cantidad en la bodega de maduración	8,6	$\frac{\text{cantidad en la bodega de maduración} \cdot 89{,}7\%}{91{,}4\%}$
cantidad producida	10,3	$\frac{\text{cantidad producida} \cdot 89{,}7\%}{89{,}7\%}$

De acuerdo con esto, la conversión de las cantidades comprobadas se realiza así:

Sección	Cantidad comprobada en hl	Conversión	Cantidad de cerveza de venta en hl
1. bodega de fermentación	1420	$\frac{1430 \cdot 89{,}7\%}{93{,}5\%}$	1371,9
2. bodega de maduración	8174	$\frac{8174 \cdot 89{,}7\%}{91{,}4\%}$	8021,9
3. depósito de barriles llenos	210	-	210,0
4. depósito de botellas llenas	865	-	865,0

Existencias convertidas a cerveza de venta = 10468,8 hl

5.9.3 Cálculo de la merma en volumen

De la diferencia entre el volumen de bombeo de mosto caliente en el mes de ejercicio menos la cantidad producida de cerveza de venta resulta la cantidad de merma, la cual ahora debe ser expresada en porcentaje del volumen de bombeo.

Por ejemplo:

volumen de bombeo en abril		11.692,0 hl
- cantidad producida de cerveza de venta		10.468,8 hl
= cantidad de merma		1223,2 hl
merma total	=	10,46%

Pero ya sabemos que nuestra merma empírica en este tipo de cerveza se encuentra en 10,3%. Si en este mes tenemos una merma de 10,46%, entonces algo no funcionó tan bien en algún lugar. Dónde ha sido esto debe ser examinado por nosotros.

Una posibilidad consiste en calcular la merma parcial que ocurre desde la sala de cocimiento hasta la cava de fermentación a partir de la diferencia entre la cantidad de inicio de fermentación en el mes de ejercicio y el volumen de bombeo. Esta merma parcial también se expresa en porcentaje del volumen de bombeo:

En abril tuvimos un		
volumen de bombeo de	11.692,0 hl	y una
cantidad de inicio de fermentación de	10.913,9 hl	y con ello una
cantidad de merma parcial de	778,1 hl	y con ello una
merma parcial SC – CF	6,65%	

SC = sala de cocción; CF = cava de fermentación

Con ello resulta la siguiente comparación:

	Merma total	Merma parcial SC - CF
valor empírico	10,30%	6,5%
valor alcanzado en abril	10,46%	6,65%
aumento de merma	0,16%	0,15%

Con ello hemos encontrado la causa probable en la sala de refrigeración, dado que la refrigeración se encuentra entre el bombeo de mosto caliente y el inicio de fermentación.

Tenemos aquí inclusive un control doble, porque en este cocimiento la diferencia entre el rendimiento de la sala de cocción y el de la cava de fermentación también es mayor que lo usual.

El control permanente de la merma es de gran importancia para el control interno de fábriça, dado que sólo por este camino se pueden detectar y eliminar errores rápidamente. Además, la aduana se interesa por la merma como base de la cantidad de cerveza a fiscalizar.

La merma de cerveza se encuentra en promedio entre 8 a 10% [50].

En esto debe calcularse que, debido a contracción del mosto caliente, desaparece alrededor del sin que haya alguna pérdida.	4,0%
En el caso de enfriamiento abierto, se evapora aproximadamente	2,5-3,0%,
En la cava de fermentación, las pérdidas se encuentran entre	1,3-1,7%,
en la bodega de maduración entre	0,6-0,8%,
en la filtración entre	0,8-1,0%,
y en el envasado entre	0,2-0,8%.

5.9.4 Cálculo del consumo de malta en kg de malta/hl de cerveza

Veremos que la merma es sólo una cifra de control interno de fábrica, que puede ser

modificada fácilmente a través de cambios en el proceso tecnológico.

La situación es diferente si se relaciona el producto de partida, la carga, con el producto final, la cerveza de venta. Si entonces dividimos la cantidad de carga utilizada por la cantidad producida de cerveza de venta, obtenemos el

consumo de malta en kg/hl para cada tipo de cerveza.

Por ejemplo:

cantidad de carga en abril	383.460 kg
cantidad de cerveza de venta en abril	22.078 hl

$$\text{consumo de malta} = \frac{383.460\ \text{kg}}{22.078\ \text{hl}} = 17{,}4\ \text{kg de malta/hl de cerveza}$$

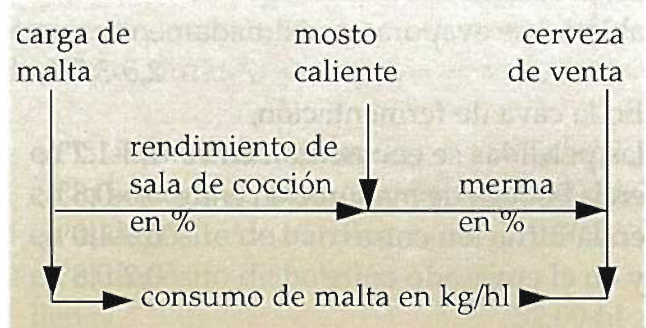
Esta cifra es importante para nosotros y no es manipulable.

Se puede calcular que se necesitan para una 1 hl de cerveza de venta al

6%	9 kg de malta,
11%	17 kg de malta,
16%	26 kg de malta.

Expresándolo de otra manera:

Para el control cuantitativo en la fábrica de cerveza existen los siguientes sistemas de control, independientes entre sí, que podemos utilizar:



El rendimiento de la sala de cocción controla el trabajo desde la molienda hasta el bombeo de mosto caliente; la merma controla desde el bombeo de mosto caliente hasta la cerveza de venta.

El consumo de malta relaciona ambos sistemas de control y da un cuadro objetivo respecto de la forma de trabajo en la fábrica de cerveza.

Pero no es posible o razonable sumar, por ejemplo, los porcentajes de rendimiento de la sala de cocción y de merma. ¡Esto no tiene sentido!

5.9.5 Importancia de la merma y posibilidades de reducción

La merma significa pérdida para la compañía. Una de las tareas más importantes para cada cervecero es ayudar en su lugar de trabajo a que estas pérdidas sean mantenidas lo menor que sea posible. ¡También pequeñas fuentes de pérdida se suman con el tiempo constituyendo grandes pérdidas!

Fuentes comunes de merma

La merma se produce por mojadura de las paredes de los recipientes. Los recipientes de menor tamaño producen una mayor merma debido a su superficie relativamente más grande.

En las tuberías también queda mosto y tanto más cuanto más larga sea la tubería.

Todos los puntos de goteo y salpicado son fuentes de pérdida.

Existen puntos en la fábrica de cerveza, en los cuales pueden producirse fugas por goteo de mosto o cerveza. Si en un punto se fuga por goteo en cada segundo una única gota (0,05 ml), entonces esta gota se suma a lo largo de un año a una cantidad de pérdida de $0{,}05 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 1.576.800$ ml = 1576 l = 15,76 hl. Por ello es importante cambiar inmediatamente las juntas con fugas y evitar todos los puntos de goteo y salpicado.

Las heces de lúpulo retienen mosto.

El extracto no es recuperado totalmente por medio del cedazo de lúpulo. A través del riego en pequeñas cantidades se reduce la merma. Es por ello que hoy en día se utilizan

pellets o extracto de lúpulo. Si se coutiliza lúpulo natural, éste es triturado y se lo acumula con el trub.

El trub contiene mosto.

La recuperación del mosto del trub es incompleta. El mosto del trub es recuperado casi sin pérdidas por retorno a la filtración de mosto.

La capa de fermentación contiene extracto. Si las cubas abiertas están demasiado llenas, de manera tal que la capa de espuma rebosa, se produce una pérdida innecesaria. La capa de espuma extraída en la fermentación también contiene cerveza. Si se la extrae de forma poco cuidadosa, se pierden 10 a 20 l por cada 100 hl. En algunas fábricas de cerveza se coloca la capa extraída primeramente en un recipiente y se permite el descenso de la cerveza arrastrada.

La levadura que queda atrás luego del trasiego retiene cerveza. Esta pérdida de cerveza es tanto mayor cuanto menos firmemente sedimenta la levadura.

Si la levadura es utilizada sin remojar para el próximo cocimiento (adición seca), la pérdida es menor, porque entonces la cerveza absorbida no se pierde. Es por ello que en lo posible se debe reutilizar la levadura en estado seco. Las posibilidades para la recuperación de cerveza de levadura son tratadas en la sección 4.4.6.

En la filtración por kieselgur se produce una merma en el orden de 0,4 bis 0,8% en los filtros de precapa con placas y marcos. En los filtros de recipiente, la merma es menor (aproximadamente 0,3%), porque allí se puede vaciar a presión y establecer una contrapresión con CO_2.

La pérdida en la sala de envasado en botellas en las plantas modernas es menor que en plantas más antiguas. Las plantas modernas tienen una merma de 0,2 a 0,4%.

Prueba de envases



- Botellas de plástico: prueba de permeación de gas a través de botellas y tapones, prueba de preformas, detección de acetaldehído
- Latas: pruebas generales de calidad, resistencia a la presión
- Embalajes: prueba de bandejas de cartón ondulado, six-packs
- Cajones: prueba de carga, prueba de suavidad de mango y de etiquetas in-mould
- Vasos: estabilidad, decoración
- Etiquetas: evaluación de calidad de papel y de impresión
- Prueba de adhesivos







Departamento de prueba de envase

Ingrid Weber
Tel.: +49 (30) 450 80-242
weber@vlb-berlin.org

www.vlb-berlin.org

Instituto Cervecero de Investigación y Enseñanza en Berlín (VLB)
Nuestros laboratorios están acreditados según la norma internacional DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Asesoramiento técnico



- Estudios de factibilidad: Sala de cocción, investigación y desarrollo, líneas de envasado
- Layout y diseño de plantas, puesta en servicio
- Revisión de especificaciones técnicas
- Valoración de máquinas, aparatos y equipos de segunda mano
- Asesoramiento energético
- Localización y resolución de fallas (en el caso de problemas técnicos o tecnológicos)
- Validación de plantas asépticas
- Seminarios, workshops, capacitación







Instituto de investigación de máquinas y envase técnico

Martin Orzinski
Tel.:++49 (30) 450 80-238
orzinski@vlb-berlin.org
www.vlb-berlin.org

Instituto Cervecero de Investigación y Enseñanza en Berlín (VLB)
Nuestros laboratorios están acreditados según la norma internacional DIN EN ISO/IEC 17025:2005

6 Limpieza y desinfección

Es muy importante que la cerveza conserve sus parámetros de calidad durante un período muy prolongado. Esto incluye el sabor y el olor de la cerveza al igual que su retención de espuma y su brillantez, siempre y cuando no se trate de cervezas turbias por naturaleza.

Pero el cumplimiento de estos parámetros no se puede lograr a través de filtración, sino que se deben observar todos los factores que garanticen un modo de trabajo limpio. La limpieza permanente de todos los lugares de producción, tanques y tuberías, y la eliminación regular y completa de contaminaciones ocurrentes son una necesidad imprescindible en todas las secciones de producción.

Para entender los problemas y las tareas relacionados con la limpieza y la desinfección, se tienen que considerar:

- los materiales de tanques y tuberías, y sus propiedades,
- los agentes de limpieza y de desinfección,
- la realización de la limpieza y la desinfección con el sistema CIP y por otros medios.

6.1 Materiales y su comportamiento frente a agentes de limpieza

Los tanques más antiguos están hechos frecuentemente de acero y poseen un revestimiento de brea o plástico que protege la cerveza de la acción del acero. Estos revestimientos son neutros y pueden ser tratados generalmente con los agentes limpiadores usuales. Es desventajoso que estos revestimientos deban ser renovados cada tanto, dado que se deterioran y pueden dar paso a contaminaciones.

Sólo los tanques de aluminio se utilizan sin revestimiento, porque éstos se recubren inmediatamente con una capa firme de óxido que los protege.

Hoy en día, los tanques, las tuberías y las válvulas se fabrican en acero al cromoníquel (acero inoxidable, acero tipo V2A), y con ello se los convierte en aptos para el proceso CIP.

Se deben tener en cuenta ciertas particularidades cuando se trabaja con:

- tanques de aluminio,
- tanques y tuberías de acero al cromoníquel,
- tanques y tuberías hechos de otros materiales.

6.1.1 Tanques de aluminio

El aluminio es un material relativamente barato para cubas y tanques; es neutro y no cede ningún tipo de substancias de sabor; por ello no necesita revestimiento protector alguno. En lo que a esto respecta, el aluminio es ideal, pero

- el aluminio es susceptible de ser atacado por agentes alcalinos y es destrozado en breve tiempo. El aluminio es un metal térreo (3er grupo del sistema periódico) y como tal está íntimamente relacionado con los metales alcalinos (Na-, K-) y los alcalinotérreos (Ca-, Mg-). En un medio alcalino, la superficie lisa del aluminio se modifica pronto muy fuertemente; se forman picaduras (peligro de contaminación) y la pared del recipiente se destruye de forma lenta;
- el aluminio se encuentra al final de la serie electroquímica de los elementos. Si el aluminio entra en contacto con otros metales (por ejemplo, enfriador de cobre sobre cuba de aluminio), se forma una pila galvánica y, con el tiempo, el aluminio se destruye (se requiere una separación aislante);

- pero el aluminio también es sensible a ácidos fuertes y se destruye en breve tiempo. Se forman elementos locales y por ello sólo es utilizable en alta pureza (> 99,9% de Al);
- el aluminio es muy blando y por ello es sensible a ser afectado por la formación de vacío. ¡En el caso de una reducida presión negativa en el tanque de reposo, existe el peligro de que éste se contraiga!

Las desventajas exceden de las ventajas y por ello el aluminio ha ido desapareciendo de las fábricas de cerveza.

6.1.2 Tanques y tuberías de acero al cromo-níquel

En la actualidad, los tanques y las tuberías son construidos en general de acero al cromo-níquel. En la fábrica de cerveza se habla a veces de acero inoxidable o de acero tipo V2A sin diferenciar exactamente de cuál se trata. Están en uso los siguientes aceros:

6

Nº de material según DIN 17007	Denominación abreviada según DIN 17006	Propiedades y campos de aplicación	Denominación antigua
1.4301 1.4306 1.4541 1.4550	X 5 CrNi 18 10 X 2 CrNi 19 11 X 6 CrNiTi 18 10 X 6 CrNiNb 18 10	agua y aguas residuales levemente contaminadas, alimentos y ácidos orgánicos, en general resistentes en medios corrosivos pobres en cloruros hasta un valor pH de 4,5. En el caso de empleo de agentes que contienen hipocloritos, existe, con valores pH por debajo de 9, el riesgo de picaduras (ver abajo)	V2A
1.4401 1.4404 1.4571 1.4580	X 5 CrNiMo 17 12 2 X 2 CrNiMo 17 13 2 X 6 CrNiMoTi 17 12 2 X 6 CrNiMoNb 17 12 2	mayor resistencia en general que el grupo V2A. Utilizados preferentemente en la construcción de aparatos químicos; mayor resistencia en el caso de contenidos más elevados de cloruros	V4A
1.4436 1.4435 1.4438	X 5 CrNiMo 17 13 3 X 2 CrNiMo 18 14 3 X 2 CrNiMo 18 16 4	mayor resistencia que el grupo mencionado arriba frente a ácidos no oxidantes y medios corrosivos que contienen cloruros	V44A Supra V18A Supra NK
1.4439	X 2 CrNiMoN 17 13 5	elevada resistencia frente a ácidos no oxidantes y medios que contienen cloruros, por ejemplo, agua de mar, lejías hipocloríticas	ASN 5 W Novonox AS 175h
1.4506	X 4 NiCrMoCuTi 20 18 2	resistencia mejorada frente a ácido sulfúrico y fosfórico, industria química	V16A Extra

Al contrario de los aceros negros (oxidables), los aceros al cromo-níquel (aceros CrNi) son aleaciones de acero con cromo, níquel y otras substancias que los hacen ampliamente resistentes contra otros materiales y que los protegen de la oxidación. Los aceros al cromo-níquel-molibdeno son aun más resistentes, pero también más caros.

En Alemania, los aceros están normalizados en su composición según DIN 17006 y DIN 17007, y están provistos de un número de material que garantiza su composición.

Puede verse en esto que las antiguas denominaciones V2A, V4A, etc. (marcas internas de un fabricante), están puestas de un modo sumario para una serie de aceros distintos, que se diferencian mucho en sus propiedades y campos de aplicación. Hoy en día se utilizan las denominaciones acero inoxidable (o acero fino), acero CrNi, acero CrNiMo o el número de material para la designación exacta. Dado que el número de material siempre comienza con "1.", esto último se omite por lo general (1.4301 - 4301).

Se debe advertir especialmente que, en particular, el acero al cromo-níquel no es resistente a agentes de limpieza y de desinfección que contienen cloruros, y que, sobre todo si se utilizan agentes de limpieza que contienen hipocloritos, se debe evitar a toda costa un mezclado con soluciones ácidas de limpieza, dado que, de lo contrario, es de esperar una pronta formación de picaduras. Tampoco se deben guardar soluciones que contienen cloro activo en recipientes de acero al cromo-níquel. Se usan para ello los aceros al cromo-níquel-molibdeno, que son más resistentes.

Por motivos puramente económicos, la amplia mayoría de tanques, tuberías y válvulas en la fábrica de cerveza está producida con los aceros CrNi 1.4301 ó 1.4306. Los aceros CrNiMo son por lejos más caros y están reservados a tanques sometidos a exigencias especiales (por ejemplo: almacenamiento de soluciones de limpieza que contienen cloro activo).

En la utilización de agentes de limpieza y de desinfección se debe por ello verificar exactamente la composición de los agentes y su compatibilidad frente a los diferentes materiales a los efectos de evitar daños. La siguiente tabla brinda un panorama respecto de la aplicación de agentes de limpieza y desinfección en aceros inoxidables. En esto se debe tener especialmente en cuenta que se debe mantener reducido el contenido de iones cloro para evitar deterioros (ver observaciones).

Los siguientes criterios para el empleo de agentes de limpieza y de desinfección rigen en Alemania según DIN 11 483:

Agente	Concentración	Temperatura	Valor pH	Tiempo de acción
hipoclorito de Na + NaOH [1]	< 5%	< 70°C	> 11	< 1h
NaOH [2]	< 5%	< 140°C	> 13	< 3h
hipoclorito de Na [3]		< 20°C	> 9	< 2h
hipoclorito de Na [3]		< 60°C	> 9	< 0,5h
H_2SO_4	< 1,5% [4]	< 60°C		< 1h
H_2SO_4	< 3,5% [5]	< 60°C		< 1h
HNO_3/H_3PO_4 [6]	< 5%	< 90°C		< 1h
HNO_3/H_3PO_4 [7]	< 5%	< 140°C		< 5 min
ácido peracético [8]	< 0,15%	< 20°C		< 2h
ácido peracético [8]	< 0,0075%	< 90°C		< 30 min
yodóforos	< 50 mg de yodo/l	< 140°C		< 24h

1) < 300 mg de iones Cl/l en el agua de preparación
2) < 500 mg de iones Cl/l en el agua de preparación
3) < 300 mg de cloro activo/l
4) < 150 mg de iones Cl/l en el agua de preparación en el caso de aceros CrNi
5) < 250 mg de iones Cl/l en el agua de preparación en el caso de aceros CrNiMo
6) < 200 mg de iones Cl/l en el agua de preparación en el caso de aceros CrNi
7) < 300 mg de iones Cl/l en el agua de preparación en el caso de aceros CrNiMo
8) hasta 300 mg de iones Cl/l.

Como los aceros inoxidables no requieren revestimiento alguno y tampoco ceden ningún tipo de substancias de sabor, no existen límites para su utilización. La ventaja principal radica particularmente en que, debido a su amplia insensibilidad a ácidos y lejías, son excelentes para limpiar en el sistema CIP. Por este motivo, las plantas nuevas son construidas sólo bajo este aspecto. Es importante que la superficie interior de los tanques sea conformada lo más lisa posible (reducida profundidad de rugosidad) a fin de poder realizar una limpieza extremadamente minuciosa y eliminar todos los residuos de contaminación. Esto se refiere sobre todo

- al esmerilado de las costuras de soldadura y
- al pulido de las superficies internas (hasta donde esto sea posible),

en especial, en tanques, filtros, bombas, tuberías, a partir del punto de proceso "Fermentación" (ver Sección 4.4.1.1).

Los aceros inoxidables alcanzan su resistencia a la corrosión únicamente si su superficie es metálicamente pura y se puede desarrollar una capa pasiva. Es por ello que, luego de la soldadura bajo atmósfera protectora (WIG, MIG), se deben eliminar las capas de óxido o los colores de revenido de forma mecánica (por cepillado o esmerilado) o química (por decapado).

Los aceros inoxidables no deben estar en contacto con otros materiales ferrosos, dado que, si no, los iones de hierro pueden causar corrosión.

6.1.3 Mangueras y juntas (sellos)

La mayoría de las mangueras es de goma. Las mangueras de goma son tuberías de conexión peligrosas. Se tiene siempre la tendencia a sacar conclusiones respecto del interior de la manguera basándose en su aspecto exterior. Esto es, frecuentemente, un gran error.

En su parte interna, la manguera de goma está expuesta a solicitaciones mucho más fuertes y además es difícil de limpiar (baño de manguera). Las fisuras y los pequeños daños en el interior son muy difíciles de detectar y de determinar.

Las mangueras de goma sólo pueden ser limpiadas de forma débilmente alcalina. Los ácidos oxidantes, como el ácido nítrico, y los iones de cobre estimulan el envejecimiento de la goma. Es por eso que se debe prestar atención a que, por ejemplo, no se limpien, en recirculación, mangueras junto con tuberías de cobre.

La calidad de la goma es muy variable. Algunas mangueras de goma ceden substancias de sabor a la cerveza, en especial si están dañadas en su interior o cuando envejecen. Es por ello que se debe hacer examinar las mangueras de goma respecto de su aptitud para aplicaciones alimentarias.

A los efectos de evitar el riesgo de contaminación debido a mangueras y el riesgo elevado de absorción de oxígeno, las mangueras van desapareciendo lentamente de la fábrica de cerveza y son reemplazadas por tuberías fijas.

Los materiales para junta (sello), con los cuales están provistas todas las uniones roscadas y las válvulas, son al menos tan problemáticos como las mangueras de gòma. Puesto que entran en contacto con la cerve-

za, deben poseer el grado de pureza prescripto por la Ley sobre Productos Alimenticios y de Consumo Corriente (en alemán: Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz) y no deben ceder a la cerveza substancia de sabor alguna.

Las juntas son fabricadas con materiales elásticos como el caucho (goma). Según el material, se diferencian mucho entre sí en lo que respecta a su dureza, la resistencia a la tracción y al alargamiento, el alargamiento a la rotura, así como en el comportamiento térmico y de hinchamiento.

Los "materiales de goma" con resistencia relativamente alta a los efectos de los productos químicos y la temperatura son los elastómeros a base de:

- NBR - caucho de (acrilo-)nitrilo-butadieno,
- caucho de silicona,
- PTFE - politetrafluoretileno y
- EPDM - copolímero de etileno propileno dieno.

También los fluorelastómeros poseen una resistencia especialmente buena.

	Denominación abreviada según ISO R 1629	Coloración característica	Marca registrada
Materiales que son elásticos como el caucho			
caucho de acrilonitrilo-butadieno	NBR	azul	Perbunan®
caucho de clorobutadieno	CR		Neoprene®
caucho fluorado	FPM		Viton®
caucho de etileno polipropileno dieno	EPDM	negro	Buna AP®
fenil metil polisiloxano	MPQ	rojo	Silopren® caucho de silicona
Materiales termoplásticos			
politetrafluoretileno	PTFE		Teflon®
cloruro de polivinilo	PVC		
poliamida	PA		Nylon®

Dado que las juntas están incluidas en el circuito de CIP, los productos químicos contenidos en los agentes de limpieza y de desinfección atacan los materiales para juntas en diferente medida. Según DIN 11 483 se deben usar los siguientes criterios de aplicación para agentes de limpieza y de desinfección en el caso del material EPDM:

Agente	Concentración	Temperatura	Tiempo de acción
HNO_3	< 2%	< 50°C	< 0,5 h
HNO_3	< 1%	< 90°C	< 0,5 h
H_3PO_4	< 2%	<140°C	< 1 h
ácido peracético	< 1%	< 90°C	< 0,5 h
ácido peracético	< 1%	< 20°C	< 2 h
yodóforos	< 0,5%	< 30°C	< 24 h
agua caliente		< 140°C	ilimitado

6.2 Agentes de limpieza

Los residuos de productos y depósitos, tales como substancias albuminoideas, resinas, aceites, sales orgánicas e inorgánicas, y microorganismos son eliminados de la superficie de los tanques, etc., durante la limpieza.

En la desinfección se debe obtener, por acción química, una superficie libre de gérmenes. Esta última se obtiene, en el caso de la esterilización, por acción térmica.

Las contaminaciones se pueden clasificar según los siguientes aspectos:

- substancias que son realmente solubles y que se desprenden durante el proceso de limpieza,
- substancias que son emulsionables, pero que no son solubles; estas substancias deben ser emulsionadas y
- substancias que no son emulsionables ni solubles; estas substancias deben ser emulsionadas luego de la humectación.

El agente de limpieza más sencillo y con menos problemas es el agua.

En la limpieza manual se utiliza exitosamente el agua con cepillos y escobillas de todo tipo y tamaño. Con esto no se puede limpiar todo hoy en día, pero tampoco se lo debe olvidar. Sobre todo, la limpieza por medio de agua a presión, tal como se la produce en equipos móviles de rociado a presión, es de gran importancia para la limpieza minuciosa de aparatos y elementos de equipos que no están incluidos en el proceso CIP y que no pueden ser limpiados en el baño de lejía.

Junto con el agua a presión y el cepillo como medios mecánicos de limpieza se utilizan agentes de limpieza químicos.

Las siguientes propiedades deben ser cumplidas por los agentes de limpieza químicos:

- buena solubilidad en agua,
- buen efecto limpiador frente a ensuciamientos,
- eficacia a bajas temperaturas,
- buena capacidad humectante,
- buena capacidad de portación de suciedad,
- no deben formar espuma,
- buena capacidad de enjuague; no deben quedar depósitos,
- no deben reaccionar con sales del agua,
- no deben causar corrosión a los materiales,
- manipulación sencilla,
- costos reducidos y
- carga medioambiental reducida de las aguas residuales, utilización de productos químicos biodegradables.

Los agentes de limpieza se ofrecen hoy en diferentes formas (en polvo, en pasta, líquido). En general se prefiere la forma líquida, porque entonces los medios son más fáciles de manipular y se los puede dosificar mejor.

Todos los agentes de limpieza confeccionados poseen dos componentes:

- una substancia portadora (soda cáustica o un ácido) y
- substancias activas (estabilizadores, solventes, detergentes).

Según el valor pH se diferencia entre

- agentes de limpieza alcalinos, ácidos y neutrales, y
- agentes de desinfección ácidos, neutrales y alcalinos.

Los agentes de limpieza alcalinos se componen predominantemente a base de 60 a 80% de soda cáustica y adiciones de carbonato sódico, metasilicato, polifosfatos, fosfato trisódico, agentes humectantes e inhibidores.

Los agentes de limpieza ácidos poseen como base ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido glucónico o ácido cítrico, con adición de inhibidores.

Pero, en lo que respecta al efecto limpiador, se debe tener en cuenta una particularidad: en todas las partes de los recipientes que entran en contacto con cerveza, inevitablemente, con el tiempo se deposita piedra (tártaro) de cerveza con una capa cuyo grosor aumenta progresivamente. La superficie rugosa de la pie-

dra de cerveza brinda un refugio ideal para contaminaciones; es por ello necesario eliminar regularmente la piedra de cerveza. El mejor medio desincrustante para esto sigue siendo todavía ácido nítrico diluido.

La mayoría de los agentes de limpieza se ofrecen a base de soda cáustica, que muestra un buen poder limpiador y tiene un efecto germicida. Este efecto limpiador puede ser incrementado considerablemente a través de aditivos. Un grupo de aditivos son los agentes tensioactivos. Los agentes tensioactivos son compuestos solubles en agua y detergentes, que se utilizan en los agentes de limpieza para reducir la tensión superficial del agua y para el desprendimiento de suciedad. En Alemania, la Reglamentación de Agentes Tensioactivos especifica una degradabilidad mínima del 80% de los agentes tensioactivos. En los catálogos de los agentes de limpieza se indica casi siempre si el medio contiene agentes tensioactivos o si es libre de éstos.

Los agentes tensioactivos deben ser eliminados completamente por medio de un posenjuague, dado que en la cerveza pueden tener un efecto destructor de la espuma (ver al respecto Sección 5.1.2.3.1).

Desde el punto de vista de la carga medioambiental también es importante el uso de ácidos orgánicos biodegradables, tales como el ácido cítrico o el ácido láctico, como agentes de limpieza.

6.3 Agentes de desinfección

De un agente de desinfección se exigen las mismas propiedades que de los agentes de limpieza, sólo que, en lugar del buen efecto limpiador, es decisivo un gran efecto desinfectante con un espectro de acción que sea lo más amplio posible.

Como agentes de desinfección se utilizan preferentemente:

- agentes de desinfección que contienen halógenos (por ejemplo $NaOCl$ = hipoclorito de sodio,
- ClO_2 = dióxido de cloro, Cl_2 = cloro gaseoso),
- oxidantes (H_2O_2, ácido peracético),
- compuestos de amonio cuaternarios (CAC) y
- agentes tensioactivos anfóteros.

Los agentes de desinfección que contienen cloro forman ácido hipocloroso, del cual se disocia oxígeno atómico en statu nascendi. Éste tiene un efecto fuertemente tóxico sobre microorganismos.

Los compuestos de amonio cuaternarios (CAC) están presentes en numerosos agentes de desinfección. Los CAC son agentes tensioactivos cationactivos que reaccionan de forma neutral y tienen un buen efecto bactericida. Son muy surfactivos y garantizan de este modo una buena humectación. Tienen como desventaja su enjuagabilidad dificultosa (problemática de residuos).

El ácido peracético se utiliza en solución al 0,01 a 0,1%. Es un agente de desinfección que se basa en la disociación de oxígeno atómico, el cual, por su lado, tiene un efecto desinfectante y que desaparece de la solución luego del enlace molar. En esto, el ácido peracético es un agente ideal de desinfección, dado que no deja residuo alguno que deba ser eliminado para desecho.

Pero en la limpieza y desinfección debemos considerar que todos los agentes empleados se vuelven a encontrar en forma completa en las aguas residuales y se convierten así en un problema medioambiental.

La utilización de agentes de limpieza que contienen cloro presenta un tipo particular de problema para las aguas residuales [71]. En la modificación de la Disposición referente a la Procedencia de Aguas Residuales del 27 de mayo de 1991, el gobierno alemán ha establecido valores límite para las substancias peligrosas formadas por el empleo de productos que contienen cloro, de acuerdo con el §7a de la Ley de Administración de Aguas. Los medios que contienen cloro se

convierten en compuestos halógenos orgánicos adsorbibles (denominados AOX) que contaminan las aguas residuales (ver Sección 9.2.1) y conducen a mayores costos de tratamiento de aguas residuales.

No es posible dar en este marco una lista de todos los agentes de limpieza y de desinfección ofrecidos en el mercado, con sus nombres, su composición y su concentración de utilización. Debe remitirse para ello a las directivas de utilización de las empresas especializadas, que se encuentran disponibles en la compañía, y a las experiencias de operación con los agentes. Pero en cualquier caso debe estudiarse minuciosamente, sobre la base de los catálogos de agentes de limpieza y de desinfección ofrecidos, para qué

- propósito se deberá utilizar el agente,
- qué concentración de utilización está prevista y
- qué compatibilidad de material o restricción existe.

6.4 Realización de la limpieza y la desinfección en el sistema CIP

En las compañías y plantas de menor tamaño reinan el cepillo y la escobilla. Esto tampoco va a cambiar en el futuro.

Pero, a medida que crece el tamaño de recipientes y de planta, la limpieza y la desinfección manuales son cada vez menos económicas y finalmente son imposibles de realizar. Este desarrollo condujo a la creación de secciones especiales de planta, las estaciones de limpieza y de desinfección, que llevan a cabo la limpieza in situ, con equipos fijos, según el proceso cleaning in place (abreviado CIP). Al mismo tiempo, por medio de la automatización de los equipos, se ahorra tiempo valioso de trabajo.

Hoy en día, las máquinas y los equipos en la fábrica de cerveza son concebidos de antemano de manera tal que sean capaces de ser sometidos a procesos CIP. Es decir, que son incluidos en uno de los circuitos de CIP. Con ello, en las plantas modernas, desde la sala de cocción hasta el envasado, se prescinde de cualquier limpieza manual.

Independientemente de esta solución, en cualquier fábrica de cerveza hay componentes de equipos, tales como codos, piezas de unión, válvulas, etc., que no pueden ser intercalados en el circuito. A los efectos de poder limpiar y desinfectar suficientemente también estas piezas, hay piletas de desinfección con solución desinfectante, en las cuales se pueden depositar estas piezas. En algunas fábricas de cerveza también se encuentran largos "baños de mangueras", en los que se pueden colocar las mangueras para desinfección/descontaminación.

Es importante examinar regularmente las soluciones de estas piletas y baños, ya que su poder desinfectante se agota con el tiempo y se pueden convertir finalmente en nutrientes para nidos de contaminación. Los medios deberían ser reemplazados cada tanto, dado que, particularmente en el caso de los CAC, se puede producir una formación de resistencia por parte de los microorganismos contaminantes de la cerveza.

El ácido peracético es inapropiado para los baños de mangueras, porque con el tiempo tiene un efecto disolvente sobre la goma.

Es importante depositar las piezas de equipamiento en las piletas de desinfección de manera tal que todas las superficies sean humectadas. Debe prevenirse que haya burbujas de aire.

Una planta para CIP está compuesta por los siguientes tanques (Figura 6.1 y Figura 6.1a):

- un tanque de acumulación para agua fresca (1),
- un tanque de acumulación para agua de reserva (2),
- un tanque de acumulación para la solución desinfectante o agua caliente (3),
- un tanque de acumulación para la solución ácida (4),

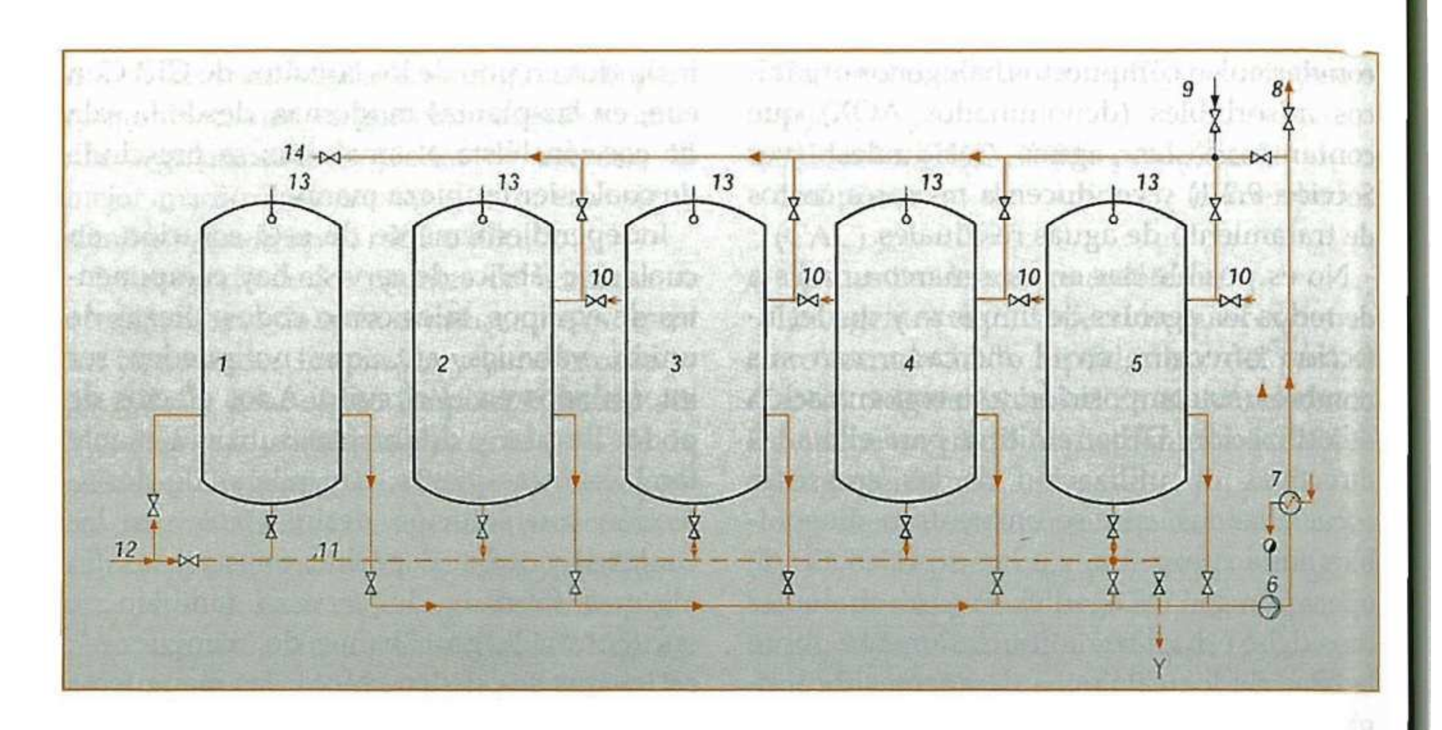


Figura 6.1 Planta para CIP (explicaciones de las pos. 1-7 en el texto)
(8) tubería de trasiego por bombeo, (9) tubería de retorno, (10) tubería para completar por adición los agentes de limpieza y de desinfección, (11) descarga, (12) suministro de agua fresca, (13) limpieza CIP de los tanques, (14) retorno de las soluciones de agentes de limpieza y de desinfección

Figura 6.1a
Planta para CIP (ejemplo 2)

- un tanque de acumulación para la solución de lejía (5),
- una bomba de recirculación (6),
- una estación de calentamiento (7),

así como por numerosas tuberías, válvulas y bombas.

Desde este sistema de tanques para CIP, por medio de una conexión automática, se bombea una potente corriente de medios a los tanques y tuberías de proceso conectados al sistema CIP. La duración y el alcance, las temperaturas, etc., se establecen sobre la base de experiencias de planta. Un ejemplo es como sigue:

- preenjuague con agua se utiliza para ello el agua de posenjuague acumulada del ciclo precedente 3- 5 min
- drenaje del agua 1- 3 min
- limpieza en recirculación con solución alcalina de limpieza con solución al 1 a 2% a 70°C 30-50 min
- drenaje de la lejía 1- 3 min
- enjuague intermedio con agua 4- 5 min
- drenaje del agua 1- 3 min
- enjuague ácido con ácido nítrico al 1 a 2% 10-15 min
- drenaje del ácido 1- 3 min
- enjuague intermedio con agua 2- 3 min
- drenaje del agua 1- 3 min
- enjuague con agente de desinfección 15-20 min
- drenaje del agente de desinfección 1- 3 min
- posenjuague con agua fresca 3- 5 min
- drenaje del agua 1- 3 min

De acuerdo con esto, el programa completo dura 1 a 2 h.

A los efectos de mantener los costos para la limpieza y la carga medioambiental tan reducidos como sea posible, se debe poner mucho esmero en el proyecto de los tanques y tuberías para la planta de CIP. Esto incluye [265]:

- poner mucho énfasis en una estrecha separación de fases de mezcla en la alimentación y el retorno de limpieza (tener en cuenta extremos de limpieza muertos, posicionamiento de ramificaciones),
- instalar reguladores de caudal en lugar de controles de secuencia de programa,
- instalar sistemas de regulación de presión para la limpieza a presión de los tanques,
- crear circuitos cortos a través de una ubicación óptima del equipo CIP en el sistema,
- tanque de alimentación de agua fresca con el menor volumen (ver Figura 6.3 (4)),
- volúmenes de circuito lo más reducido posible, por medio de la correcta selección de diámetros de tubos:

Diámetro nominal de tubo	DN80	DN65	DN50	DN40
contenido en l/m	5,0	3,3	2,0	1,3
capacidad de transporte en m^3/h	45	30	18	12
diámetro de tanque en m	>6	6	4	3

Debe considerarse también la velocidad del líquido en dependencia del diámetro de tubo (DN=NW) y del caudal (m^3/h o l/min); ver Figura 6.1b.

Respecto de los componentes de un equipo de CIP se debe decir además:

- Los tanques de acumulación deben poseer todos los componentes para una operación libre de problemas, tales como rebose, boca de entrada de hombre, indicador de nivel, posibilidad de toma de muestras, posibilidad de limpieza interior, extracción de vahos y, en el caso de tanques con calentamiento, también aislación térmica.
- Las bombas, tuberías y válvulas deben estar dimensionadas de manera tal que no pueda producirse cavitación (ver Sección

10.5.1.3). Debe prevenirse un mezclado accidental de medios a través de conexiones apropiadas.

- La recepción y el almacenamiento de los productos químicos –de acuerdo con la legislación del país– debe realizarse de manera tal que no pueda ocurrir daño alguno si se produce un defecto. Dado que en este caso se trata a veces de cantidades importantes de producto líquido, debe prestarse especial atención al respecto.
- La técnica de medición y el control de equipo deben asegurar una operación libre de problemas en la secuencia prevista. Las magnitudes a medir más importantes son en esto la conductividad de los diferentes medios, la temperatura y el caudal.

Se debe evitar durante la limpieza CIP que puedan pasar contaminaciones de una sección a la otra. Es por ello que se tienen diferentes estaciones de CIP, por medio de las cuales también es posible un tratamiento diferente en cada uno de los equipos. Así, determinadas zonas son limpiadas siempre en caliente; otras, no o sólo a pesar de uno mismo. Una posible división [146] consiste en separar entre sí:

- equipos para la sala de cocción y el camino del mosto,
- equipos para las tuberías de líquido no filtrado,
- equipos para los tanques de líquido no filtrado, así como
- equipos para el líquido filtrado y el envasado.

Los equipos para la sala de cocción y el camino del mosto disponen generalmente de

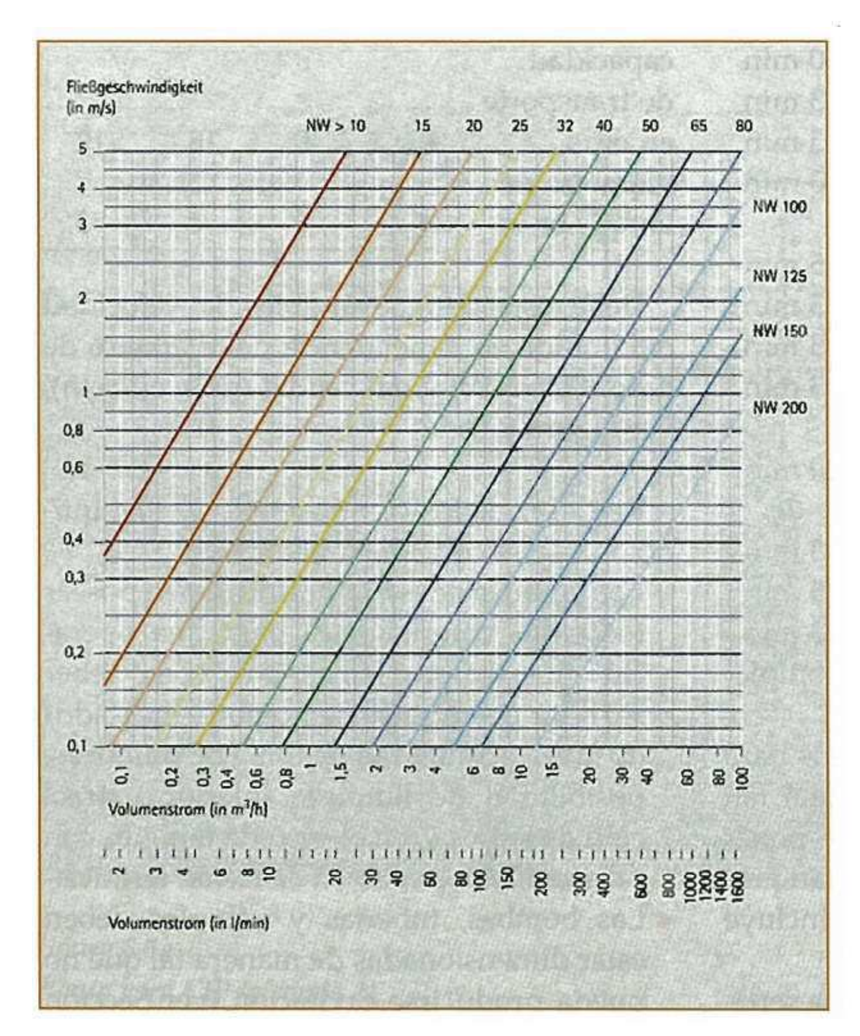


Figura 6.1b
Velocidad del líquido en dependencia de diámetro de tubo

- tanques para lejía caliente para los recipientes de cocción,
- tanques para lejía caliente para el camino del mosto (separación debido a fuerte ensuciamiento por la lejía de los recipientes de cocción),
- solución ácida,
- agentes de desinfección (para el camino del mosto),
- agua fresca, agua de acumulación.

La limpieza del recipiente de cocción se realiza hoy en día con menor alcalinidad (2 a 3% de NaOH) y aditivos oxidantes, por medio de los cuales se acelera considerablemente el proceso de limpieza y ocurre una limpieza más minuciosa. Por medio de una breve etapa de limpieza ácida se ligan residuos de agentes de limpieza y posteriormente los tanques y tuberías son enjuagados con agua fresca.

Los equipos para las tuberías de líquido no filtrado están proyectados con

- tanques para lejía caliente,
- tanques para ácido,
- tanques para agua fresca (o directamente de la red),
- tanques para agua de acumulación y
- tanques para desinfección.

Por lo general, las tuberías para líquido no filtrado –tal como los recipientes de cocción– son limpiadas en caliente, neutralizadas con ácido y enjuagadas minuciosamente con agua fresca. Es importante una desinfección final por medio de un preparado de ácido peracético o una solución de dióxido de cloro en la última agua.

Equipos para los tanques de líquido no filtrado (tanques cilindrocónicos)

Para la limpieza de los tanques de líquido no filtrado (tanques cilindrocónicos de fermentación y tanques cilindrocónicos de reposo) existen varias posibilidades:

Limpieza alcalina en caliente

La limpieza alcalina en caliente es un proceso ampliamente difundido para la limpieza de tanques. Durante la limpieza en caliente, el tanque es sometido a un rociado de enjuague con una cantidad de líquido de alcalinidad definida (soda cáustica o bien agente de limpieza a base de NaOH).

Problemas

- El NaOH reacciona con el CO_2 y forma bicarbonato sódico ($NaHCO_3$) insoluble, que precipita y causa que la lejía sea progresivamente ineficaz. Se debe entonces extraer primeramente el CO_2 para no tener pérdidas innecesarias de lejía. Por otro lado, el CO_2 inerte es importante porque evita una oxidación. Para el desplazamiento del CO_2 existen dos variantes:

Variante 1:
Vaciar el tanque con aire a presión (tiempo de vaciado < 12 horas); el colchón de CO_2 ofrece a la cerveza una protección confiable contra el oxígeno. Si se vacía sólo una parte, se debe utilizar primero CO_2 como gas de contrapresión.
Luego del vaciado, el tanque debe ser despresurizado a través del cono: ¡primero viene el CO_2, luego el aire! Con ello, el tanque está libre de CO_2.

Variante 2:
El tanque vacío es barrido con aire comprimido (aire por arriba) o, energéticamente mejor: el CO_2 es aspirado o desplazado con aire. Se puede usar para ello un soplante de alta presión.

- En tiempos recientes se trata también de recuperar nitrógeno puro (99,9%) y de eliminar así totalmente el oxígeno del tanque. Pero esto sólo tiene un futuro si se logra producir nitrógeno puro de forma muy barata.
- A través de un rociado de enjuague con agua fría se puede producir una presión negativa (vacío) en el interior si la válvula de vacío está cerrada. El tanque puede con-

traerse (implotar); esto sucede inclusive muy rápidamente, dado que los tanques son muy vulnerables al vacío. Es por ello que se prefiere establecer de antemano una sobrepresión, la cual, a su vez, decrece durante el enfriamiento, o se monitorea la presión por medio de un control y se adiciona gas en caso de necesidad.

- Una limpieza en caliente es posible hasta por encima de 90°C. Sin embargo, es condición que el tanque esté diseñado para ese aumento de temperatura. Por lo general, este no es el caso. Es por ello que los tanques cilindrocónicos son limpiados muy frecuentemente de forma tibia a temperaturas no mayores que 35°C.
  Existe también la posibilidad de limpiar el tanque de forma alcalina y en frío, pero, en general, esto no aporta mucho. Es mejor entonces una combinación de limpiezas alcalina y ácida.

Limpieza ácida de una fase

Limpiar únicamente con los medios ácidos usuales no aporta a la larga resultados exitosos, porque las partículas de suciedad no sean eliminadas suficientemente y la solución de limpieza se contamina progresivamente con gérmenes. Sin embargo, es ventajoso que en una limpieza ácida se pueda limpiar bajo una atmósfera de CO_2. De este modo no es necesaria una extracción previa del CO_2, lo que tiene un efecto positivo sobre los costos.

A través del desarrollo de soluciones ácidas de limpieza sobre la base de ácido nítrico y ácido fosfórico, y en parte ácido glucónico, en combinación con agentes tensioactivos y agentes antiespuma, es posible realizar en menos tiempo un desprendimiento a fondo de la suciedad en el tanque, por medio de una limpieza ácida de una fase, y también una desinfección. Esta forma de limpieza de tanque se impone hoy en día cada vez más, en especial también para el área de tanques a presión.

La secuencia temporal es entonces aproximadamente:

preenjuague	10 min
solución ácida	60 min
enjuague intermedio	5 min

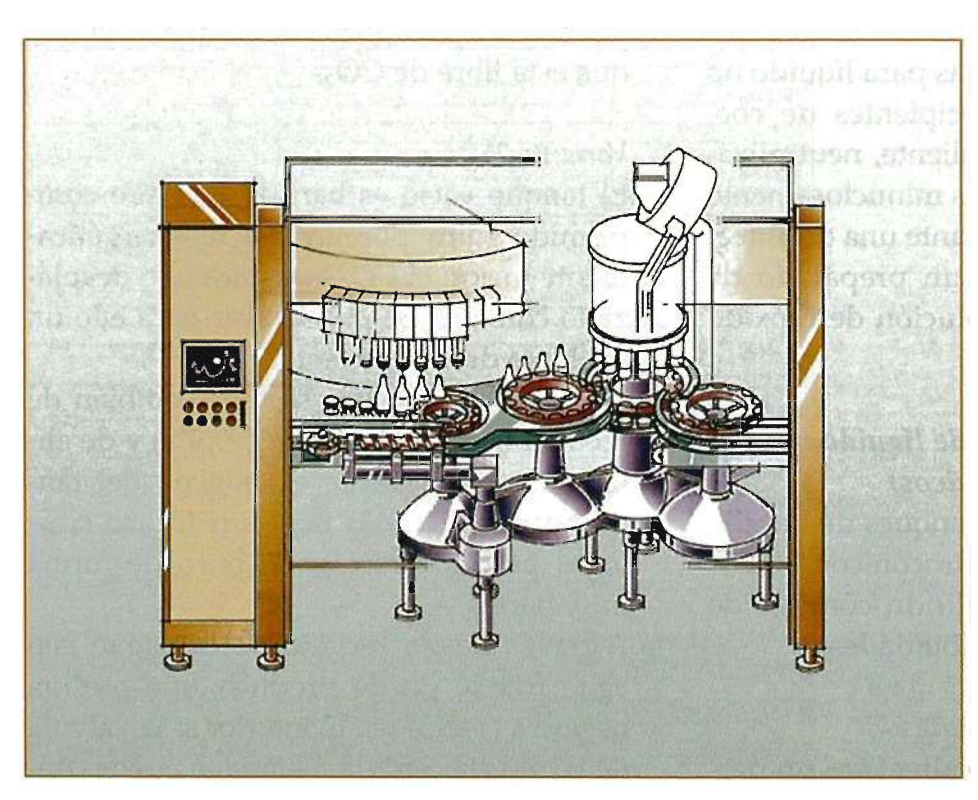


Figura 6.2
Mesa previa microbiológica de llenadora, con diseño de contaminación reducida (Empresa KHS Dortmund)

Desinfección 15 min
Agua fresca 10 min

Equipos para líquido filtrado

Éstos incluyen: el filtro, las tuberías detrás del filtro, el área de tanques a presión y los caminos de envasado.

Están previstos para ello:

- tanques para agentes de limpieza alcalinos,
- tanques para agentes de limpieza ácidos,
- agua caliente (acidulada),
- agua fresca y
- agente de desinfección.

Esta área es particularmente sensible, ya que aquí las contaminaciones remanentes ya no pueden ser eliminadas y deterioran la cerveza de forma duradera.

La necesidad de la limpieza intensiva ya ha sido discutida en el contexto de la limpieza de la máquina llenadora y tapadora de botellas. A los efectos de prevenir un establecimiento de gérmenes en las mesas previas y en el carrusel de llenado, se ha desarrollado también una mesa previa "microbiológica" de llenado (Figura 6.2).

Limpieza por espuma

La limpieza por espuma es una especialidad que se utiliza muy frecuentemente para la limpieza exterior de tanques y equipos. Con la limpieza por espuma se quiere evitar las desventajas de otros métodos de limpieza:

- El chorro de rociado a alta presión no se dispara únicamente con hasta 200 bar contra los nidos de contaminación, sino también en rodamientos a bolas, instalaciones eléctricas y piezas móviles. De esta manera penetra agua en los equipos y se estimula la corrosión.
- Con las gotas de agua en la niebla se transportan contaminaciones a través de distancias. Estas contaminaciones reaparecen en el lugar inapropiado.
- En las superficies planas, los agentes de limpieza líquidos se escapan rápidamente y por ende no pueden actuar o sólo lo hacen brevemente.

Si se esparce espuma de limpieza, se evitan estas desventajas. La espuma de limpieza es formada, bajo suministro de aire, por una bomba centrífuga con una presión de trabajo de 12 a 25 bar. Se la pulveriza sobre las superficies a limpiar como capa de aproximadamente 2 mm de espesor. En parte también ya alcanza una simple atomización (presión < 3 bar) para la formación de espuma.

La espuma se distribuye y penetra lentamente en las fisuras y cavidades. La suciedad desprendida es tomada por la espuma y puede luego ser eliminada, junto con esta última, fácilmente por enjuague. Las contaminaciones tampoco son arremolinizadas en el ambiente, sino que son desprendidas y eliminadas por enjuague con el agua. La espuma es bien visible y los residuos de espuma muestran que aún hay una eliminación por enjuague insuficiente luego de la limpieza por espuma. Esta limpieza se ha impuesto muy exitosamente en los últimos años.

Hoy en día, la fábrica de cerveza debe ser abierta como una caja de vidrio, limpia y sin esquinas con suciedad –sólo así puede ser presentada a visitantes que esperan del fabricante de su cerveza la limpieza más meticulosa–. ¡Esta limpieza abierta debe ser la máxima prioridad en todas las secciones!

Debido a la limpieza, la lejía de limpieza del equipo CIP se enriquece con substancias de suciedad y por ello sólo es utilizable de forma limitada en el tiempo. Debido a las substancias de suciedad con que se enriquece, la lejía de limpieza se convierte con el paso del tiempo en una solución de nutrientes para microbios. Para prevenir esto existen dos posibilidades:

- la solución de limpieza se utiliza sólo dos veces: una vez para la poslimpieza y la vez siguiente para la prelimpieza. Luego, la lejía es desechada o
- se limpia la lejía dejándola sedimentar, fil-

tróndola o tratándola, tal como sucede con la lejía de la limpieza de botellas (ver Sección 5.2.1.6.3).

La reutilización de las soluciones usadas de limpieza y de desinfección sólo es posible y adecuada de forma limitada. Hoy en día se está más interesado en diseñar los sistemas de manera tal que sea posible una combinación de acumulación y de preparación fresca (Figura 6.3).

Con una planta tal es posible:

- realizar una extracción desde el tanque de acumulación o evitarlo por by-pass,
- reutilizar tanto el medio (acumularlo) como también desecharlo luego del uso (limpieza perdida),
- ajustar la solución de limpieza a la temperatura deseada (7) y
- ajustar la concentración de agente de limpieza según deseo; la variación de concentración ocurre luego a través de una estación dosificadora (5); el tanque de acumulación contiene entonces únicamente la concentración más débil necesaria.

La forma particular del tanque previo de agua fresca (4) garantiza, con su "pie estáti-

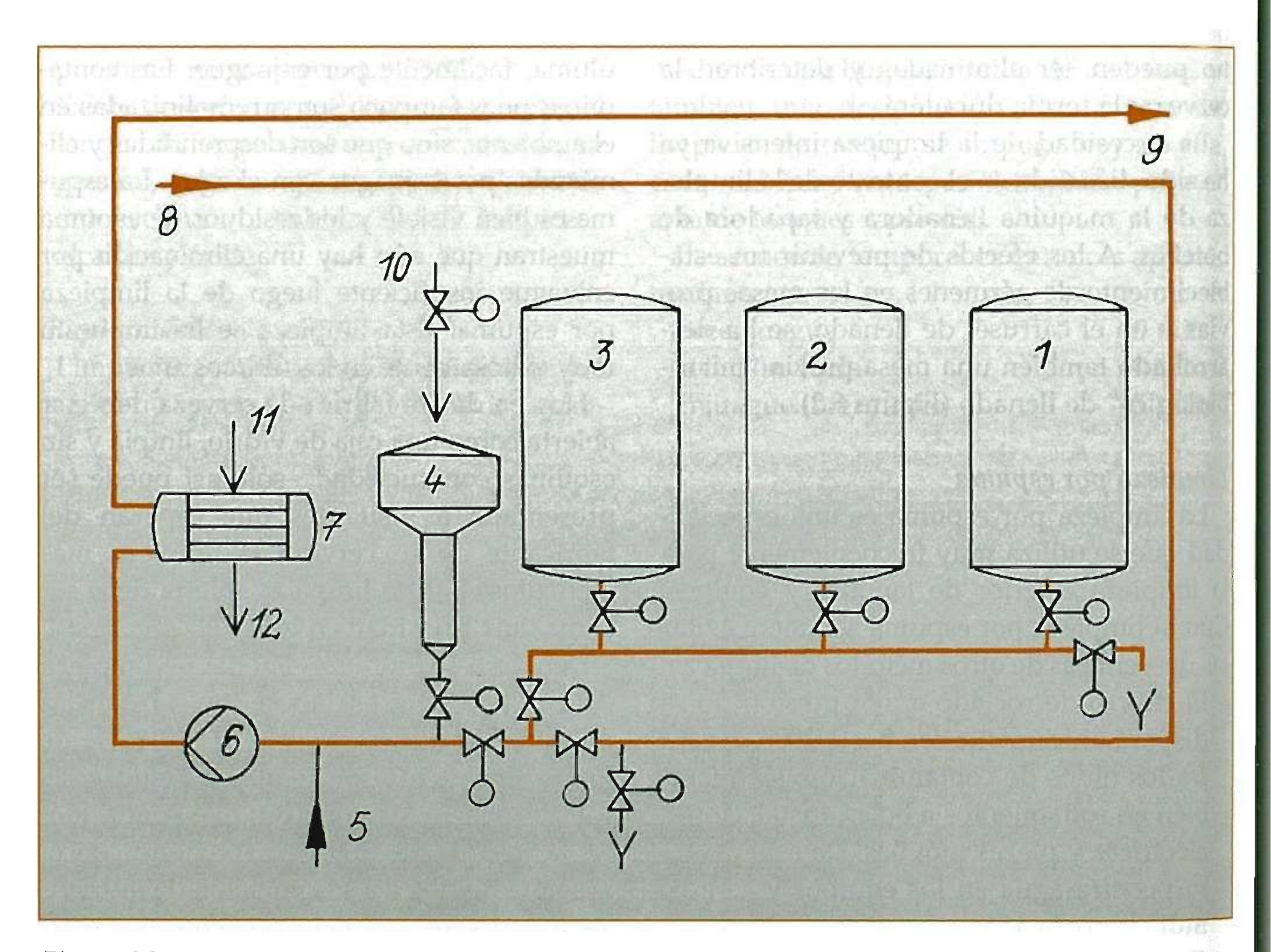


Figura 6.3
Sistema de limpieza, combinada para acumulación y preparación fresca
(1) tanque de acumulación para solución de limpieza, (2) tanque de acumulación para solución de desinfección, (3) tanque de acumulación para agua de servicio, (4) tanque previo de agua fresca, (5) dosificación de los productos químicos (lejía, ácidos, agentes de desinfección), (6) bomba, (7) estación de calentamiento, (8) retorno, (9) alimentación, (10) agua fresca, (11) vapor, (12) condensado

como –como en los tanques elevados de agua usuales– y con muy reducido volumen, una elevada presión de entrada y particularmente una constancia de presión de entrada al sistema de limpieza.

6.5 Procedimiento de limpieza

La limpieza en los tanques ocurre por rociado de los medios de limpieza.

Como métodos de limpieza se pueden utilizar en esto el rociado a baja presión o el rociado a alta presión.

En el rociado a alta presión se emplea un chorro preciso con hasta 60 bar para la limpieza predominantemente mecánica.

En la limpieza a baja presión se envía sobre la pared del recipiente una corriente de medios considerablemente mayor (20 a 75 m³/h) con una presión más baja de hasta 6 bar (m). A través de este chorreado se posibilita predominantemente la acción química de los medios. En la actualidad se utiliza predominantemente el rociado a baja presión.

La habilidad consiste en ubicar en los tanques los cabezales rociadores y los limpiadores a chorro adecuados de manera tal que todas las partes del tanque, incluyendo también las esquinas periféricas, sean alcanzadas en cualquier limpieza. Para ello, la industria especializada ofrece un vasto programa de cabezales rociadores y limpiadores. Sin embargo, debe cuidarse que todos los cabezales rociadores tengan un pequeño orificio orientado hacia abajo a fin de permitir el drenaje de todos los residuos de agentes de limpieza.

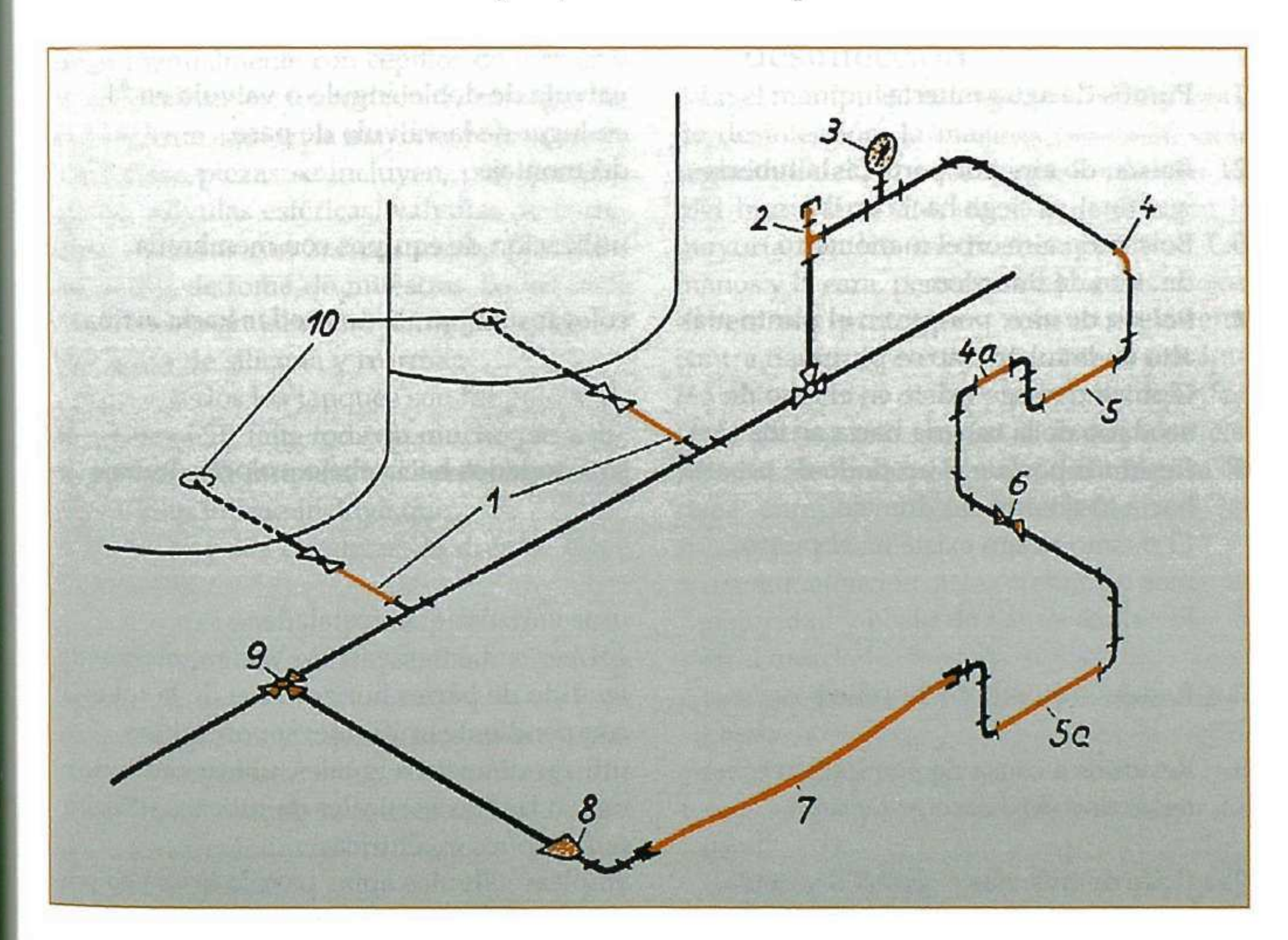


Figura 6.4
Causas frecuentes para fallas en la limpieza por circulación

Cada sistema CIP para limpieza de tanques dispone de dos bombas: una envía la solución de limpieza a presión a través del sistema de tuberías a los cabezales rociadores y la segunda retorna la lejía que drena. Para que no ocurra una acumulación, esta segunda bomba tiene un 25% más de capacidad posible que la primera.

El sistema CIP sólo trabaja libre de problemas si se controlan y se mantienen los siguientes criterios:

- secuencia lógica y completa de los pasos de programa,
- separación exacta de medios (medición de
- conductividad con monitoreo de tiempo), dimensionamiento correcto de las bombas,
- control esmerado de los cabezales rociadores y de las concentraciones,
- mantenimiento permanente de válvulas, sondas y dispositivos de medición,
- construcción de todas las piezas que están en contacto con el producto de manera tal que sean de fácil limpieza y
- limpieza regular de la estación misma de CIP.

A través de la medición en línea se controla

- la velocidad de circulación,
- la temperatura y
- la conductividad (y con ello la concentración)

de la lejía de limpieza; con ello se puede registrar todos los datos esenciales de proceso.

Error	Remedio
1. Puntos de agua muerta	válvula de doble ángulo o válvula en "T" en lugar de la válvula de paso
2. Bolsón de aire por parte de la tubería que finaliza ciega hacia arriba	desmontaje
3. Bolsón de aire en el manómetro de tubo de Bourdon	utilización de equipos con membrana
4. Bolsón de aire, porque en el punto más alto de la tubería no se purga. El mismo riesgo existe en el caso de acodado de la tubería hacia arriba (4a)	colocar una purga, no acodar hacia arriba
5. Residuos porque el acodado de tubería hacia abajo está sin drenaje. El mismo riesgo existe en el punto más bajo (5a)	sin acodados hacia abajo, colocar drenaje
6. Residuos en la válvula	usar válvulas que, instaladas correspondientemente, se vacían totalmente
7. Residuos en tubería hundida	tendido de partes horizontales de la tubería con pendiente uniforme; soportar bien
8. Residuos a causa de ampliación o reducción de diámetro de tubo	utilizar diámetros iguales, ubicar reducciones en tramos verticales de tubería, utilizar reducciones excéntricas
9. Grifo de tres vías o también válvula, que debe ser desarmada para limpieza	emplear válvulas aptas para la limpieza por circulación
10. Conexión de purga de tanque roscada con sello interno	utilizar conexión roscada, soldada al tanque

En la limpieza de las tuberías ocurren frecuentemente errores, cuyas causas no siempre son detectables inmediatamente. En la Figura 6. se indican algunas de estas causas [51].

6.6 Limpieza mecánica

Aunque los tanques estén limpios por dentro, se debe limpiar las piezas adosadas, tales como codos, cierres, válvulas, piezas de unión, etc. Esto ocurre usualmente en piletas con agentes de limpieza. Aun así, las piezas externas adosadas e inmóviles, tales como conexiones o similares, deben ser limpiadas mecánicamente. Se utilizan para ello pequeños equipos móviles de rociado a alta presión. En la planta está establecido un programa preciso para la limpieza amplia.

Todas las piezas que no están cubiertas por el circuito CIP deben ser limpiadas y desinfectadas manualmente con cepillos de formas y tamaños diversos; un rociado de enjuague no es suficiente aquí en la mayoría de los casos.

En estas piezas se incluyen, por ejemplo, grifos, válvulas esféricas, válvulas de corredera, válvulas con accionamiento por husillo, grifos de toma de muestras. Se las debe desarmar manualmente, limpiar, engrasar con grasa de silicona y rearmar.

Aun si todos los tanques son limpiados en el sistema CIP, falta todavía mucho para que se alcancen la limpieza y el orden en todos lados. Esto último incluye que

- los pisos y las canaletas de drenaje estén fregados,
- los tanques estén limpiados exteriormente,
- las paredes estén blanqueadas o pintadas, etc.,
- los sumideros y cajones fijos estén vaciados y limpios.

Pero, aun cuando todo esto esté en orden, debe tenerse todavía en mente la limpieza mecánica gruesa:

- las zonas de barrido, tales como el piso de molino, deberían ser sometidas a aspiración de polvos,
- el patio debe ser barrido y no debe encontrarse en toda la fábrica de cerveza ni una esquina de suciedad.

6.7 Control de la limpieza y la desinfección

Los resultados de la limpieza y la desinfección se reflejan en las contaminaciones que se presentan en la cerveza. La supervisión al respecto es responsabilidad del control biológico de la compañía (ver Sección 7.4.2), que determina por medios diferenciados el lugar y el momento en que ocurre cada contaminación, y suministra con ello la base para las conclusiones respecto del trabajo a realizar.

6.8 Protección en el trabajo durante la limpieza y la desinfección

En el manipuleo con agentes de limpieza y de desinfección, la máxima prioridad es la seguridad del personal ocupado con ello. La piel humana es atacada o quemada por la mayoría de los medios empleados. Las manos y la cara, pero especialmente los ojos, deben ser protegidos consecuentemente contra daños de ese tipo durante el manipuleo con agentes de limpieza y de desinfección. Es por ello que en el manipuleo con agentes de limpieza y de desinfección se debe cumplir consecuentemente con las siguientes medidas:

- prestar atención a las hojas de datos de seguridad y observar lo escrito en éstas,
- en el mezclado de productos químicos tener siempre en cuenta el orden ácido/lejía/agua. Quien no respete este orden puede sufrir heridas graves.
- usar gafas protectoras para proteger los ojos,
- usar la vestimenta protectora prescripta y
- utilizar, en caso de emergencia, los medios de protección laboral prescriptos, tales como duchas para ojos, duchas, etc.

7 La cerveza terminada

7

Al final de la producción se tiene la cerveza envasada. Una precondición decisiva para mantener nuestra clientela y ganar nuevos clientes es que esta cerveza sea de una calidad permanentemente buena e invariable.

Pero el constante aseguramiento de una buena calidad presupone el conocimiento de una serie de relaciones que se detallan en este capítulo. Esto incluye:

- *la composición de la cerveza* y su importancia,
- *el sabor y la espuma* de la cerveza como sus criterios más importantes,
- *en especial*, interesan las variedades de cerveza, sus particularidades y sus propiedades, y finalmente es de importancia muy especial
- *el control de calidad* de nuestra cerveza.

7.1 Composición de la cerveza

Con alrededor del 91 al 92%, el agua tiene la porción más grande en la cerveza, pero no la más importante. El bebedor de cerveza se da cuenta muy pronto de que es necesaria mucha agua.

El requerimiento de agua del ser humano se encuentra entre 2 y 3 litros por día, que pueden ser ingeridos de varias formas. Pero, en la cerveza, el agua, en combinación con los minerales disueltos, el CO_2 y la temperatura fría es especialmente calmante de la sed.

El alcohol es, con 4,5 a 5,5% en vol., uno de los componentes más importantes en la cerveza. El alcohol es absorbido directamente por el cuerpo y convertido directamente en energía, lo cual se puede ver y escuchar muy pronto en algunas personas.

Cuanto más lenta es la absorción de la cerveza, tanto menor es el nivel de alcohol en la sangre. La absorción de alcohol se reduce si en el estómago hay comida.

El efecto de reducidas cantidades de alcohol se pone de manifiesto con la eliminación progresiva de inhibiciones psicológicas, una sensación de bienestar, locuacidad, sociabilidad y un sentimiento de comodidad. Cantidades mayores de alcohol conducen a la embriaguez, ante la cual cada persona reacciona de manera diferente. Para todo cervecero que trabaja diariamente con cerveza es importante controlarse en ese aspecto en todo momento.

Um buen cervecero no se caracteriza por beber una cantidad particularmente grande de cerveza, sino por el hecho de que puede producir cerveza especialmente buena. Un cervecero que es para sí mismo su mejor cliente está fuera de lugar.

En la indicación del contenido alcohólico se diferencia entre la indicación usual de porcentajes en volumen (% en vol.) y la indicación en porcentajes en masa (% en masa) –usualmente denominados porcentajes en peso–; los valores se diferencian mucho, porque el alcohol "fluye" dentro del agua al ser mezclado con ésta; es decir, que de 1 litro de agua y 1 litro de alcohol no resultan 2 litros, sino considerablemente menos en mezcla.

7.1.1 Componentes de la cerveza

A continuación se indican los contenidos alcohólicos promedio de algunos tipos de cerveza [93]:

Tipo de cerveza	Alcohol promedio	% en masa desde - hasta	Alcohol promedio	% en vol. desde - hasta
cerveza normal clara	3,8	3,3-4,5	4,9	4,3-5,8
cerveza de exportación clara	4,3	3,7-4,6	5,4	4,4-5,9
cerveza tipo Märzen	4,3	3,7-4,6	5,5	4,7-5,9
cerveza tipo Pilsner	3,9	3,4-4,5	5,0	4,4-5,7
cerveza tipo Bock	5,0	4,2-5,9	6,4	5,5-7,5
cerveza dietética	3,8	3,7-4,1	4,8	4,7-5,1
cerveza libre de alcohol	0,3	0,0-0,5	0,4	0,0-0,6
cerveza ligera	2,2	1,6-2,8	2,8	2,0-3,6
cerveza normal de trigo	4,0	3,5-4,6	5,2	4,5-5,9

El alcohol no se presenta en la cerveza únicamente como etanol, sino siempre en conjunto con otros alcoholes superiores alifáticos, que son formados por el metabolismo de la levadura durante la fermentación. Estos alcoholes superiores se denominan también "aceites de fusel", porque en grandes cantidades pueden causar dolores de cabeza, temblor de ojos, alteraciones en las reacciones, resaca y síntomas de envenenamiento. En contraste con el etanol, que puede ser degradado por el sistema enzimático del cuerpo (acostumbrado a la cerveza) en un tiempo relativamente breve, los alcoholes superiores no pueden ser degradados por el cuerpo, porque éste no dispone (inicialmente) de mecanismos para ello. Muy a pesar de la persona implicada, estos alcoholes superiores son corridos de un lado al otro dentro de su cuerpo hasta que se posibilita una degradación lenta por medio de mecanismos sustitutos. Esto dura usualmente un día como mínimo.

Cantidades mayores de estos alcoholes superiores (aceites de fusel) se encuentran en general en cervezas con contenido alcohólico más elevado, en tanto que, por otro lado, las cervezas con contenido alcohólico más reducido contienen menos alcoholes superiores y son con ello considerablemente más sanas.

En la cerveza se encuentran los siguientes alcoholes superiores:

	mg/l
n-propanol	9,8
isobutanol	9,6
amilalcohol	60,1
2-fenil etanol	19,8

Estos alcoholes son formados por la levadura que extrae el grupo amino en los aminoácidos presentes en el mosto y lo sustituye por el -OH del alcohol (ver Sección 1.4.2.2).

En esto cumple un papel muy importante la oferta o el defecto de aminoácidos. Por ejemplo:

- si falta valina, se forma más isobutanol,
- si falta leucina, se forma más 3-metil butanol, etc.

En relación con esto es muy importante indicar una vez más que, por medio de

medidas apropiadas durante la maceración (ver Sección 3.2.1.5) se proveen como mínimo 20 mg de α-aminonitrógeno libre/100 ml a la levadura para que ésta no esté obligada a formar, a través de desaminación, alcoholes superiores a partir de aminoácidos.

7

El extracto en la cerveza está compuesto por aproximadamente
75 a 80% de hidratos de carbono, en especial, las dextrinas límite (maltotetraosa, maltopentaosa), y escasamente de maltotriosa,
6 a 9% de substancias albuminoideas,
4 a 5% de glicerina (glicerol), así como de β-glucanos, minerales, taninos y compuestos amargos, ácidos orgánicos y una serie de compuestos, los cuales tienen una gran influencia sobre la calidad de la cerveza aun a pesar de su pequeña concentración.

Las substancias albuminoideas cumplen un papel importante en el extracto. Los siguientes valores pueden ser considerados normales:

nitrógeno total en la cerveza	600-1100 mg/l
nitrógeno coagulable	18-20 mg/l
nitrógeno precipitable con sulfato de magnesio	130-160 mg/l
α-aminonitrógeno (FAN)	80-120 mg/l
nitrógeno de formol	160-210 mg/l

Las substancias albuminoideas provienen en un 80 a 85% de la malta y en aproximadamente un 10 a 15% de la levadura. Conocemos su influencia en lo que respecta a retención de espuma, cuerpo y estabilidad de la cerveza.

La glicerina está presente en las cervezas normales claras con 500 a 1600 mg/l; se forma como producto secundario de la fermentación alcohólica y contribuye al cuerpo y al redondeado del sabor en la cerveza.

Los minerales, que en su mayor parte llegan a la cerveza a través de la malta, también tienen una influencia sobre la calidad de la cerveza:

Mineral	Cantidad en la cerveza en mg/l	Efecto fisiológico sobre el ser humano
sodio	30-32	bajo contenido de sodio
potasio	500-600	con un requerimiento diario de aproximadamente 250 mg es bueno para la profilaxis contra infartos; un alto contenido de potasio tiene un efecto diurético
calcio	35-40	puede prevenir enfermedades cardíacas
magnesio	100-110	tiene un efecto descendente sobre el nivel de colesterol, tiene un efecto positivo sobre la actividad cardíaca
fosfatos	300-400	componente importante de los huesos y los dientes; responsable del almacenamiento y transmisión de energía
sulfatos	150-200	sin importancia trascendental
cloruros	150-200	el requerimiento diario del ser humano se encuentra en aproximadamente 2500 mg
nitratos	10-80	los nitratos pueden ser convertidos en nitritos, que son dañinos para la salud. Las cantidades de nitratos presentes en la cerveza están por debajo del valor límite para agua potable de 50 mg/l y no son dañinas.

Otras substancias de baja concentración presentes en el extracto, pero en parte con gran influencia cualitativa, son por ejemplo:

β-glucanos	220-400 mg/l
antocianógenos	5-50 mg/l

Los compuestos fenólicos contenidos en la cerveza, en especial los antocianógenos, son

sobre todo muy efectivos como substancias de bajo peso mlecular:
- tienen efecto bactericida,
- estimulan la actividad cardíaca y actúan de forma desconvulsionante en el estómago,
- contribuyen a la resorción de hierro y magnesio, y
- tiene un fuerte poder de reducción e impiden la oxidación.

El amplio rango muestra, sin embargo, cuán grandes son las diferencias en la composición de las diferentes cervezas.

En el contenido de extracto se debe diferenciar entre el contenido aparente y el real, sobre todo porque que estos valores difieren mucho. El contenido aparente se comprueba durante la medición en la cerveza con el densímetro, pero el real recién se prueba luego de la eliminación del alcohol.

Ejemplos de contenidos de extracto [93]:

Tipo de cerveza	Contenido de extracto aparente en %		Contenido de extracto real en %	
	promedio	desde-hasta	promedio	desde-hasta
cervezas normales claras	2,4	1,5-3,4	4,2	3,4-5,0
cervezas de exportación claras	2,7	2,0-3,9	4,6	2,7-6,0
cerveza tipo Märzen	3,3	2,5-4,3	5,2	4,6-6,1
cerveza tipo Pilsner	2,3	1,5-3,7	4,1	2,9-5,6
cerveza tipo Bock	4,1	3,4-6,8	6,5	5,8-8,7
cerveza dietética	-0,1	-1,2-0,3	1,9	1,6-2,1
cerveza libre de alcohol	5,3	2,0-7,6	5,5	2,9-7,6
cerveza normal de trigo	2,4	1,8-3,7	4,3	3,7-5,3

¡Debe tenerse en claro que en la cerveza hay considerablemente más extracto que lo que permite suponer una atenuación límite de 80 a 85%!

Pero también deben tenerse en cuenta otras substancias de menor concentración:
- *La viscosidad* de la cerveza se encuentra entre aproximadamente 1,40 y 1,60 mPa · s. Una viscosidad mayor puede dificultar la filtración de la cerveza.
- *El contenido de dicetonas vecinales* (diacetilo) fue medido al final de la fase de maduración en un máximo de 0,10 mg/l; en cualquier caso se trata de alcanzar un contenido por debajo de 0,10 mg/l.
- El valor pH de las cervezas se encuentra entre 4,3 y 4,7; las cervezas de trigo tienen un pH algo menor (4,3 a 4,5).

La importancia nutricional y fisiológica de la cerveza es grande. Se pueden nombrar los siguientes motivos para la popularidad de la cerveza –excluyendo el efecto evidente del alcohol:

La cerveza apaga la sed; en otras palabras, apaga el deseo de líquido mejor que otras bebidas.

La cerveza estimula el apetito –el sabor de la cerveza también está concebido de manera tal que el bebedor es estimulado a continuar bebiendo.

A través de la cerveza se *estimula la digestión*. Esto se basa en el hecho de que la actividad de las enzimas de digestión es estimulada por las reducidas cantidades de alcohol y el dióxido de carbono liberado. La estimulación de la digestión por parte de la cerveza es de gran importancia.

La cerveza tiene un fuerte efecto diurético. La causa de ello debe buscarse en los componentes del lúpulo y en las sales de potasio. Esta diuresis es considerable y a veces puede ser sentida como una molestia. Los urólogos aprovechan la propiedad diurética de la cerveza para el "lavado" del riñón y para la purga de cálculos renales.

La cerveza no engorda. Con un consumo moderado de cerveza, el peso corporal permanece invariable. No puede culparse a la cerveza si el consumo de ésta es acompañado frecuentemente por un apetito incrementado.

¡La cerveza tiene un efecto soporífero! Reducidas cantidades de alcohol tienen un efecto tranquilizador luego de breve tiempo. En pequeñas cantidades, la cerveza no causa cansancio, sino que relaja y elimina tensiones nerviosas. Si en esto se ha cubierto un umbral de cansancio, el efecto soporífero tiene lugar en forma total. Las resinas de lúpulo no tienen influencia sobre el cansancio.

A pesar de que la levadura absorbe durante la fermentación casi todo el contenido de vitamina B1 del mosto, la cerveza todavía continúa conteniendo vitaminas valiosas, sobre todo del grupo B (B1 y B2) y mucha vitamina PP (ácido nicótico). Sin embargo, dado que la levadura acumula la mayor parte de la valiosa vitamina B1, es más sano beber cerveza sin filtrar y rica en levadura. Pero este deseo contrasta con la exigencia ineludible de tener una cerveza brillante y clara. Aquí los cerveceros de restaurante están en ventaja con su cerveza sin filtrar. Cada vez más, las fábricas de cerveza ofrecen también cerveza turbia de bodega; sin embargo, la turbidez no tiene que provenir necesariamente de la levadura. Una turbidez proteica tiene la ventaja de que no sedimenta y no afecta el sabor.

Los contenidos promedio de una cerveza (tipo Pilsner) son [169] (las cifras entre paréntesis indican la cantidad de compuestos individuales que fueron registrados con el valor):

alcohol	4,8-5,1% en vol. (ml/100 ml)
extracto	3,9-4,1 g/100 g
agua	920 g/kg
energía fisiológica	400-440 kJ/kg
hidratos de carbono (> 40)	27-30 g/l
proteínas y aminoácidos (> 30)	4,3 g/l
minerales y elementos traza (> 40)	1500-1700 mg/l
de éstos sodio	40-45 mg/l
vitaminas (> 14)	200-220 mg/l
ácidos orgánicos y grasos (> 100)	630-680 mg/l
substancias fenólicas (> 50)	150-155 mg/l
componentes de lúpulo (> 130)	250-500 mg/l
dióxido de carbono	0,50 g/100 g
dióxido de azufre	3 mg/l
elementos nucleicos (> 25)	300 mg/l
aminas, amidas, pirazinas (> 50)	70 mg/l
productos secundarios de fermentación (> 300)	1500-1800 mg/l
fibras	1520-1530 mg/l
nitrato	25-33 mg/l
oxalato	12-13 mg/l

7.1.2 Cerveza y salud

Siempre hay voces que equiparan la cerveza con alto consumo de alcohol y deterioro de la salud. En esta forma, esto no es correcto. Tal como se ha podido demostrar en la Sección anterior, la cerveza contiene una cantidad de substancias bien digeribles y favorables para la salud y tiene un efecto calmante y armónico sobre sus consumidores. Con ayuda de la dehidrogenasa de alcohol, nuestro cuerpo también es capaz de degradar rápidamente el etanol si este ha sido consumido moderadamente. Es por eso que tampoco se producen efectos tardíos. Es otro el caso con los alcoholes superiores, también llamados aceites fusel, tal como ya ha sido descripto. Éstos causan ese dolor de cabeza conocido y el sentimiento de malestar del día siguiente, hasta que el cuerpo ha completado la degradación por medios indirectos. Así también les va a muchos asiáticos orientales con el etanol, para cuya degradación sus cuerpos no disponen de un sistema enzimático adecuado.

Sin embargo, es indiscutible que un consumo excesivo de cerveza es a la larga dete-

r rante para la salud y que puede conducir a la adicción.

Es por ello que se debe diferenciar entre [207]:

- consumo moderado de alcohol, que no causa daño a la persona ni a la sociedad,
- abuso de alcohol; por esto se entiende un consumo excesivo de alcohol, que se desvía de las reglas usuales y que ocurre en casos individuales. Esto incluye por ejemplo también el consumo de alcohol por parte de conductores de vehículos o en el trabajo, y
- adicción al alcohol; esto significa que la persona ha alcanzado el deseo irresistible de ingestión regularmente recurrente o permanente para evitar sentimientos de malestar. En ese caso se ven afectadas la salud física y mental, las relaciones interpersonales y las tareas sociales y económicas.

El consumo moderado de alcohol o el abuso de este último no conduce automáticamente a la adicción al alcohol. Sin embargo, todos los estudios de los últimos años muestran claramente que un consumo moderado de alcohol no es dañino para la salud, sino que, por el contrario, puede tener un efecto positivo sobre la salud del consumidor [169, 207]. Al respecto deben indicarse los siguientes aspectos:

- La cerveza no engorda si el disfrute por comer no es estimulado por la cerveza, aumentando con ello la ingesta de alimentos. Con un consumo moderado de cerveza, el peso corporal permanece invariable y hasta se reduce si el suministro total de energía permanece constante.
- El consumo moderado de cerveza conduce también a una porción de grasas reducida, porque el alcohol tiene un efecto inhibidor sobre el metabolismo de grasas. Aparte de ello, el consumo moderado de cerveza tiene un efecto favorable sobre la coagulación de la sangre y la regulación de la presión sanguínea.
- El consumo moderado de cerveza tiene una influencia positiva sobre la porción de colesterol protector (HDL) en la sangre. Simultáneamente disminuye el contenido de colesterol estimulante de arteriosclerosis (LDL). Estos cambios aparecen particularmente en personas que en su vida practican deportes. Con ello, un consumo moderado de cerveza disminuye el riesgo de infarto al corazón.
- Existe una cantidad considerable de referencias de que las personas que consumen cantidades reducidas o moderadas de alcohol padecen menos enfermedades cardiovasculares, o mueren en menor cantidad a raíz de éstas, en comparación con las personas que no beben alcohol. Al mismo tiempo, las personas que consumen grandes cantidades de alcohol muestran una tasa de mortalidad más elevada.
- Luego de un consumo moderado de cerveza desciende el nivel de glucemia. De este modo se produce un incremento más intenso de insulina y una mejor reactividad a la insulina. De esto no depende solamente el balance de azúcares, sino también el de grasas.
- Las personas, cuyo consumo de cerveza es moderado tienen una menor presión sanguínea que los abstemios. De este modo ocurren cambios, en el balance hormonal, de agua y de electrolitos.
- La cerveza estimula la excreción de orina; se excreta con ello también mayor cantidad de sal común, en tanto que se inhibe la excreción de potasio y magnesio. Pero un consumo elevado de alcohol tiene el efecto opuesto.
- El consumo moderado de cerveza no conduce a una deficiencia de magnesio o de potasio. En los últimos tiempos hubo estudios que han enfocado la atención especialmente sobre el efecto protector de los antioxidantes (polifenoles). Estas substancias no sólo tienen un efecto protector

sobre el sistema vascular, sino que disminuyen el riesgo de cáncer y de infartos.

En suma, hay estudios que demuestran que los bebedores moderados de cerveza desarrollan un menor riesgo de infarto de corazón y de enfermedades cardiovasculares que los abstemios o bebedores fuertes de cerveza. Según estudios extensos [169], la mortalidad y el número de enfermedades cardiovasculares en hombres son mínimos si éstos beben diariamente entre 20 y 40 g de alcohol puro; esto corresponde a un límite superior de dos botellas de cerveza por día. En el estudio, entre los muertos anuales, la cantidad de abstemios duplicaba la de los bebedores moderados. Sin embargo, por encima de un umbral de 40 g, el número de muertes volvía a aumentar.

Expresado en cantidades, el consumo de una a tres bebidas alcohólicas por día (en promedio dos por día) debe ser considerado como moderado [207]. Esto corresponde a 13 a 39 g de alcohol por día (promedio: 26 g por día).

Referido a la cerveza, estos son 1 a 3 vasos de 0,33 l (promedio: 2 veces 0,33 l) de cerveza con un contenido alcohólico de 40 g o bien 50 ml por l.

El Prof. Piendl comenta al respecto: "Una cerveza es mejor que ninguna cerveza. Dos cervezas son mejores que una cerveza. Pero cuatro cervezas no son el doble de buenas que dos cervezas".

7.2 Sabor y espuma

El sabor y la espuma de la cerveza constituyen criterios de calidad importantes, que pueden tener ponderación diferente según el país y el tipo de cerveza. Aun así se pueden realizar algunas exposiciones básicas respecto de ambos criterios de calidad.

7.2.1 Sabor de la cerveza

El sabor de la cerveza es un criterio decisivo. Debe corresponder al tipo de cerveza y a veces es complementado también por elementos específicos del país o de la moda. Aun así debe satisfacer las expectativas de los clientes para poder imponerse sobre las cervezas de los competidores.

En el trago inicial, el sabor

- es marcado por el aroma y el cuerpo, complementados por
- la rescencia de la bebida. Pasando al regusto, el sabor es
- marcado por el amargor de la cerveza.

Finalmente, todas estas sensaciones se mezclan entre sí y dan como resultado un sabor (más o menos) equilibrado de la cerveza.

7.2.1.1 Aroma de la cerveza

El aroma de la cerveza es marcado

- por la raza de levadura y los productos secundarios de fermentación formados por ésta,
- por la variedad de lúpulo y la adición de lúpulo, así como
- por compuestos de azufre.

Las razas de levadura muestran grandes diferencias en lo referente a la formación de productos secundarios de fermentación, en especial de alcoholes superiores y ésteres, así como en la proporción de los ésteres de sabor floreado con respecto a los alcoholes superiores (alifáticos). La proporción de alcoholes superiores (alifáticos) con respecto a ésteres es 2,5 a 3 : 1 en fermentación "normal". Bajo determinadas circunstancias, tales como la adición frecuente de mosto por etapas en una prolongada fase de inicio de fermentación, la proporción puede cambiar a 4 a 5 : 1 o, en el caso de propagación de levadura bajo adición rápida y con aireación intensiva, hasta 11 a 12 : 1.

Tales cervezas tienen un sabor vacío y duro, y carecen de un toque justo [143].

Se recomienda en estos casos una adición de la levadura durante el llenado del tanque, que sea gradual y en etapas, y una segunda aireación, a los efectos de adecuar las condiciones para que el crecimiento de la levadu-

ra sea lo más uniforme posible. También la geometría del tanque influencia la proporción entre alcoholes superiores y ésteres. En esto ha demostrado ser favorable una relación diámetro : altura de 1 : 2 (hasta 1 : 3).

Las levaduras de fermentación alta producen considerablemente más ésteres y alcoholes superiores que las levaduras de fermentación baja, sobre todo debido a:

- temperaturas de fermentación más elevadas durante la fermentación superior, en tanto que
- la aplicación de presión disminuye un poco su formación.

Pero un toque de éster también es favorable en cervezas más fuertes (cervezas tipo Bock, cervezas de festividades) y redondea el sabor, en tanto que en las cervezas de fermentación baja, en especial en la tipo Pilsner, se suprime la formación de alcoholes superiores y ésteres.

En particular, en las cervezas tipo Pilsner, el aroma de lúpulo está pronunciado y es bienvenido. El aroma de lúpulo es aportado en primer lugar por el aceite de lúpulo; en esto no es tan importante la cantidad, sino que lo es mucho más la composición de los aceites de lúpulo. La forma de adición de lúpulo (conos de lúpulo, pellets, extracto) y el momento de su adición son significativos en esto.

Los aceites de lúpulo son obtenidos mejor en forma soluble desde los conos de lúpulo y los pellets que desde el extracto. Por adición de lúpulo al primer mosto en la paila se pasa una parte substancial de los aceites de lúpulo a la forma soluble en cerveza. Es por ello que el lúpulo amargo debería ser adicionado en forma de extracto al principio de la cocción a fin de deplazar con el vapor de agua también los aceites de lúpulo (indeseados).

Para poner el aroma de lúpulo totalmente de relieve, continúa valiendo el hecho de adicionar el lúpulo de la mejor calidad (¡por lo general es el más caro!) al final; por ejemplo, con una duración de cocción de una hora [143]:

25% al inicio de la cocción,
25% 40 min antes de la finalización de la cocción,
25% 20 min antes de la finalización de la cocción y
25% 5 min antes de la finalización de la cocción.

La pureza del aroma de lúpulo depende de:

- la calidad del lúpulo de partida y la de los pellets,
- la absorción de aire en la etapa de mosto caliente (ingreso de aire, formación de mangas) por formación de ácido isovaleriánico (huele a queso),
- del envasado libre de (o pobre en) oxígeno.

El aroma de lúpulo también tiene influencia sobre la estabilidad de sabor de la cerveza.

Los compuestos de azufre influyen sobre el sabor de la cerveza por la formación de dióxido de azufre. El dióxido de azufre tiene una influencia positiva sobre el carácter general de la cerveza, en particular, sobre la estabilidad de sabor [144, 285]. El SO_2 se forma en la última fase de la fermentación como producto intermedio de la síntesis de aminoácidos que contienen azufre.

La formación de SO_2 depende de:

- la raza de levadura y
- las condiciones de aireación.

Una aireación reducida conduce a contenidos de SO_2 notablemente más altos en el caso de levadura de cosecha, pero también a una prolongación del tiempo de fermentación. Se puede obtener un contenido elevado de SO_2 con igual tiempo de fermentación por medio de mezcla de levadura de cosecha con levadura de asimilación. Del mismo modo, por reducción de la aireación o bien no aireando los últimos cocimientos, se mantiene la actividad de fermentación así como también se ejerce una influencia positiva sobre la formación de SO_2 y la estabilidad contra envejecimiento de la cerveza [288].

7

El aroma de la cerveza es codeterminado también por una gran cantidad de compuestos volátiles de azufre, que otorgan a la cerveza clara y suave un sabor "azufrado a levadura", el cual es causado por los sulfuros y mercaptanos. Este carácter de la cerveza se alcanza:

- por utilización de maltas no tan fuertemente tostadas,
- por baja absorción de oxígeno durante la producción de mosto,
- por acidificación biológica de la templa y el mosto, así como
- por una fermentación principal y una fermentación secundaria (posfermentación) rápidas.

Si, aparte de ello, el mosto es sometido en el calor a esfuerzos de corte, el aroma puede cambiar para ser más "a cebolla", lo cual puede causar quejas por parte del consumidor.

Entre los compuestos volátiles de azufre se encuentra también el sulfuro de dimetilo (DMS), por medio del cual la cerveza obtiene un aroma a verduras. Un contenido de DMS de

60 ppb en cervezas de adjuntos o de
100 a 130 ppb en cervezas de maltas
ya es considerado molesto.

Sabemos que en la malta ya existen los precursores del DMS, S-metil metionina (SMM) y sulfóxido de dimetilo (DMSO) –denominados DMS-P–, y que, por acción del calor, son convertidos cada vez más en DMS volátil. Este proceso iniciado durante el tostado (ver al respecto Sección 2.5.1.4) continúa durante la cocción del mosto (ver al respecto Sección 3.4.1). Se debe cuidar que luego de la cocción de mosto no se continúe formando DMS a partir del precursor. El DMS ya no puede ser evaporado entonces y afecta de esta manera el sabor (ver al respecto Sección 3.4.2.6.6).

7.2.1.2 Cuerpo (paladar)

El cuerpo de la cerveza se detecta al inicio del beber de forma tal que el consumidor obtiene una indicación respecto del "contenido" de la cerveza. La base para el cuerpo de la cerveza es la cantidad de mosto original contenido.

Cuanto más mosto original contiene, tanto más cuerpo tiene su sabor. Esto se debe al contenido alcohólico y al contenido residual de extracto.

Sin embargo, hay desviaciones de esta regla básica si

- se produce cerveza tipo Pilsner de cuerpo liviano; entonces el cuerpo no debe ser tan pronunciado,
- se produce cerveza liviana (tipo light); se trata entonces de obtener cuerpo adicional por medio de adición de maltas oscuras, de mayor tostado.

Aparte de ello, los productos de degradación proteica de alto peso molecular (10-100 kD) participan en el cuerpo.

Las siguientes calidades en la malta son consideradas positivas (ver Sección 2.8.3):

contenido de proteínas	10,5-11%
grado de modificación proteica	39-41%
diferencia harina-triturado	1,7-2%
viscosidad	1,54-1,57 mPa · s
color de malta/de mosto cocido	2,5/5,5 EBC

Con maltas sobremodificadas se obtienen olor y sabor insulsos y ningún cuerpo. En las cervezas con utilización de hasta un 20% de adjuntos (arroz o maíz), los valores deberían ser

el grado de modificación proteica	hasta 42%
la diferencia harina-triturado	1,5-1,7% y
la viscosidad	1,50-1,55 mPa · s.

La adición de sulfato de calcio o de cloruro de calcio al agua para cerveza tiene un efecto positivo sobre el trago inicial suave y el cuerpo; una alcalinidad residual y una acidificación producen cervezas con más cuerpo y más suaves.

La degradación proteica es llevada a cabo hoy en día solamente hasta el punto en que el contenido de FAN sea 21 a 22% del nitró-

g no total en el mosto. De esta manera, con las maltas bien modificadas, usuales hoy en día, es posible

- realizar la mezcla a 60 a 62°C y
- extraer la primera templa cocida a 62°C (ver proceso de maceración con tiempos optimizados).

Los reposos prolongados en el rango de 45 a 55°C dan como resultado cervezas sin rescencia, pobres en espuma, de sabor vacío y duro.

7.2.1.3 Rescencia

Por rescencia se entiende el "burbujeo" mientras se bebe la cerveza; este burbujeo debe mantenerse hasta el final de la bebida. Una cerveza que ya no es burbujeante tiene pronto un sabor insípido.

La rescencia depende

- del contenido de dióxido de carbono de la cerveza y
- del valor pH de la cerveza.

La rescencia se hace visible a través del CO_2 que se libera lentamente de la cerveza en el vaso. La duración de la liberación de CO_2 depende

- de la forma en que se llena el vaso (por ejemplo: espumante desde gran altura o cuidadosamente con el vaso inclinado)
- de la duración de la liberación del CO_2 en el vaso,
- de la superficie interna del vaso (puntos "porosos" en el vidrio).

Se recomienda por ello:

- llenar el vaso de forma cuidadosa para no liberar el CO_2 prematuramente (ver Sección Espuma),
- llenar y servir el vaso en breve tiempo (recomendado 3 min),
- preferentemente, llenar en vasos más pequeños y para ello más frecuentemente.

Independientemente del contenido de CO_2, la rescencia es influenciada por el pH de la cerveza. Un valor pH más bajo resulta en una mejor rescencia.

La exigencia es:
un valor pH de 4,35 a 4,40 para cervezas que son sólo a base de malta y
un valor pH de 4,0 a 4,2 para cervezas de adjuntos.

7.2.1.4 Amargor de la cerveza

El amargor de la cerveza es formado

- en primer lugar por el lúpulo; aparte puede haber
- un amargor de taninos,
- un amargor de proteínas y
- un amargor de levadura.

El amargor de lúpulo es causado naturalmente en primer lugar por los compuestos amargos del lúpulo. En esto se le atribuye a la cohumulona un efecto de amargor más intenso. Pero también el efecto combinado de los compuestos amargos con los aceites de lúpulo cumple un papel en esto en lo referente al toque justo del amargor: el lúpulo amargo con los aceites de lúpulo menos deseados es adicionado en primer lugar a los efectos de extraer los aceites de lúpulo con el vapor de agua. La influencia de la variedad de lúpulo sobre el amargor de la cerveza está por ello definida claramente.

Las variedades de lúpulo deben ser clasificadas según amargor creciente y dureza en el aroma en aumento [144]:

- Hersbrucker/Perle-Hüller
- Bitter-Record, Northern Brewer
- nuevo lúpulo americano Super α
- Brewers Gold, Nugget y Magnum.

El amargor de taninos se presenta particularmente cuando

- se reutiliza la última agua o el agua de prensado de heces,
- la porción de agua de riego, en el caso de primer mosto de alto porcentaje, es muy alta,
- los taninos son oxidados fuertemente, por ejemplo por introducción de aire en el mosto o por formación de mangas,
- los taninos de lúpulo son extraídos más

fuertemente por lavado por medio de agua con carbonatos.

El amargor de proteínas puede presentarse en el caso de

- maltas demasiado pobremente modificadas o
- trabajo de maceración demasiado intensivo.

El amargor de levadura es perceptible cuando

- la levadura se encuentra en un mal estado fisiológico,
- la levadura ha sido reusada demasiadas veces o
- el contenido de levadura de la cerveza es demasiado alto durante el trasiego.

El sabor de la cerveza, que depende de tantos factores individuales, es al final el eslabón decisivo en la valoración por parte del cliente. Es por ello que se debe hacer todo para prevenir cambios indeseados y fluctuaciones en el sabor de la cerveza. El cervecero debe reconocer a tiempo las desviaciones del sabor deseado y sus factores de influencia a fin de poder intervenir y asegurar una calidad uniformemente buena de la cerveza.

7.2.2 Espuma de la cerveza

La espuma de la cerveza es un criterio valorado de forma muy diferente según los países. Mientras que en Alemania y en la mayoría de los países europeos se aprecia mucho una capa de espuma grande y estable, en Inglaterra, por ejemplo, no se tiene interés en la espuma. Esto se enfatiza a través del llenado del vaso hasta el borde –no sólo en el caso de la cerveza–, en tanto que en otros países sólo está previsto el llenado del vaso hasta la marca de nivel a los efectos de dejar suficiente espacio libre para la espuma.

Para la evaluación de la espuma nos interesan su volumen y su retención.

Formación de la espuma

La espuma se forma en el llenado del vaso por las burbujas de CO_2, que escapan a causa de la reducción de presión. Durante el ascenso, las burbujas de CO_2 se enriquecen con substancias tensioactivas. Estas substancias tensioactivas tienen una tensión superficial reducida; es decir, que son capaces de aumentar su superficie de manera limitada y de formar una envoltura elástica alrededor de la burbuja de gas también después del ascenso.

Cuanto más CO_2 se encuentra disuelto, tanta más espuma se forma, pero la formación de la espuma no es idéntica con la retención de espuma: la espuma sólo es estable por la presencia de estas substancias tensioactivas.

¡En un vaso con agua mineral no se puede formar espuma, porque alli no hay tales substancias!

Es por ello que se debe diferenciar siempre entre formación de espuma y retención de espuma. Sobre todo es importante la retención de espuma.

Colapso de la espuma

El colapso de la espuma comienza directamente después de la formación de ésta, pero la velocidad de colapso puede ser muy variable. El colapso comienza con el reventamiento y el flujo de retorno de las capas alrededor de las burbujas de gas, donde se estimulan procesos de evaporación y la espuma se solidifica en la zona superior. Esto posibilita un posllenado de la cerveza en el vaso al cabo de un tiempo relativamente breve (aproximadamente después de un minuto), donde la espuma solidificada asciende fuera del vaso formando una corona de espuma. Esto no es posible realizarlo en un único procedimiento de llenado de vaso.

La ulterior solidificación de la espuma se reconoce también en los llamados "anillos de bebida", que se forman en el borde del vaso con cada trago.

Factores de influencia sobre la retención de espuma

Básicamente se debe diferenciar entre

substancias positivas para la espuma y substancias negativas para ésta.

Un efecto positivo para la espuma tienen sobre todo los productos de degradación proteica de alto peso molecular, con pesos moleculares entre 10.000 y 40.000 Da (10 - 40 kDa), en particular la proteína de transferencia de lípidos y la proteína Z, así como el α-ácido del lúpulo. Es por ello que de una cerveza lupulada de forma más intensa se puede esperar una espuma más estable. También los taninos y los antocianógenos pueden mejorar la espuma, pero únicamente en estado no oxidado y no condensado.

Por el contrario, tienen un efecto negativo sobre la espuma todos los alcoholes, en particular, los alcoholes superiores, y varios productos secundarios de fermentación, así como los antocianógenos y un contenido más elevado de aminoácidos.

Los factores de influencia sobre la retención de espuma (indicados en puntos, según Ross y Clark) son por ello muy diferentes [142]:

Factor de influencia	Un cambio del factor de influencia en	causa una cambio en la retención de espuma de
nitrógeno coagulable	+ 0,1 mg/100 ml	+ 1,0 puntos
nitrógeno de alto peso molecular	+ 1,1 mg/100 ml	+ 0,9 puntos
viscosidad	+ 0,1 cP	+ 2,6 puntos
compuestos amargos	+ 1,1 mg/l	+ 0,5 puntos
productos de degradación proteica de bajo peso molecular	+ 0,1 mg/100 ml	- 0,3 puntos
antocianógenos	+ 1,1 mg/l	- 0,2 puntos
alcohol	+ 0,1%	- 1,4 puntos

Los componentes principales de las proteínas positivas para la espuma son –junto con fragmentos de hordeína y glutelina–, sobre todo, la proteína de transferencia de lípidos LPT1 de 10 kDa, así como la proteína Z, una proteína de 40 kDa. Durante el reposo y en la cerveza que no está tratada térmicamente, la LTP1 es degradada progresivamente por la proteinasa de levadura A, lo cual tiene como consecuencia una disminución de la estabilidad de espuma [261]. A través del tratamiento térmico de la cerveza (pasteurización flash, pasteurización, etc.) se desactiva la proteinasa de levadura A. Por medio de otros estudios se busca explorar las posibilidades para minimizar la actividad de la proteinasa de levadura A.

De la cantidad de factores que ejercen influencia sobre la espuma resulta una serie de conclusiones para el proceso tecnológico:

La influencia del malteado, en particular la influencia de una modificación más elevada de malta, no está definida claramente. Indudablemente, temperaturas de tostado más elevadas estimulan la formación de espuma.

Por el contrario, la influencia de la maceración sobre la espuma es importante: todos los reposos que estimulan la degradación de proteínas y glucanos hacen disminuir con esto simultáneamente la retención de espuma. Los reposos prolongados a temperaturas de 50 a 60°C con seguridad dan como resultado una espuma pobre.

Se debe tratar de alcanzar temperaturas de mezcla más elevadas (62 a 65°C) y reposo prolongado a 70 a 72°C con pH 5,2 a 5,3.

En la fermentación y la maduración es detectable una influencia negativa de la levadura sobre la espuma si la levadura ha sido dañada por almacenamiento inadecuado, cosecha tardía o propagación insuficiente. En el caso de almacenamiento tibio y prolongado, o presión elevada, la levadura excreta progresivamente substancias de degradación, que se pueden expresar de forma deteriorante para con la espuma. No

7

se puede decir aún con certeza qué influencia tiene en esto la proteinasa de levadura A.

Influencia ulterior sobre la retención de espuma

Independientemente de las medidas tecnológicas, la retención de espuma puede modificarse también posteriormente. El factor negativo más grande en esto es el efecto destructor de la espuma por parte del aceite y de la grasa, que son aplicados al borde del vaso de cerveza, particularmente debido al consumo de comidas, y pueden destrozar la espuma en cuestión de segundos. Los vasos limpios sin la menor película de grasa, el reemplazo de los vasos usados con bordes de grasa, el uso de trapos limpios para sacar brillo son sólo algunas de las condiciones para el mantenimiento de la espuma. ¡Hasta las menores trazas de grasa son dañinas! ¡En este sentido es necesario hacer todavía mucho trabajo de educación con los dueños de restaurante, pero también con las amas de casa, a los efectos de mantener la calidad de la cerveza!

También condiciones de presión insuficiente en el sistema de tuberías del restaurante, tuberías de cerveza insuficientemente limpias, grifos expendedores inapropiados y detergentes inadecuados de lavado de vasos hacen disminuir la retención de la espuma.

Pero también hay una serie de factores positivos para aumentar la retención de la espuma. A estos factores pertenece primeramente el gas formador de espuma. Hemos visto que la formación de espuma ocurre debido a que se forma una película de líquido alrededor de una burbuja de gas. Este gas puede disolverse en la película de líquido y causa así el reventamiento de la burbuja. La solubilidad de los gases es, sin embargo, muy variada. Los gases, cuya disolución en el líquido ocurre sólo de forma dificultosa, forman así una espuma de mayor retención que aquellos que se disuelven fácilmente en el líquido. El CO_2 se disuelve relativamente fácil y forma una espuma no tan buena como el aire, por ejemplo, que se disuelve más dificultosamente y con el cual se puede producir una espuma de mayor retención.

El nitrógeno puro (N_2) se disuelve de manera incomparablemente más difícil en las burbujas de gas y es con ello el gas ideal para la producción de una espuma muy estable, de poros finos (ver Widgets, Sección 5.5.8), la que, sin embargo, no solidifica.

Por este motivo, en muchos países, se emplea cada vez más el nitrógeno (N_2) también para el despacho desde barriles. En esto se deben tener en mente las condiciones de presión de saturación de ambos gases (CO_2 y N_2) a fin de evitar pérdidas de CO_2.

Con el nitrógeno, el sabor de la cerveza se modifica para tender a "blando"; el sabor "mordicante" del CO_2 y la rescencia se pierden en gran parte.

Otra posibilidad de mejorar la retención de espuma consiste en la adición de sales o agentes estabilizadores de espuma.

A éstos pertenecen en primer lugar las sales de hierro (0,6 g/hl) en combinación con agentes reductores para evitar que la espuma se ponga marrón. Las sales de hierro, níquel y cinc, en combinación con compuestos proteicos de alto peso molecular, también tienen un efecto estabilizador sobre la espuma.

Los alginatos, la goma de xantan y también la goma arábiga mejoran la estabilidad de la espuma. Deben mantenerse las dosis indicadas por las empresas especializadas.

Pero también debe indicarse que con la adición se produce en todos los casos una modificación de sabor, tendiendo generalmente a "blando". Pero, según la ley de pureza Reinheitsgebot, la adición no está permitida.

Cuán catastrófica puede llegar a resultar una adición incontrolada se muestra aquí con un ejemplo ocurrido hace décadas en

una fábrica canadiense de cerveza: una gran cantidad de bebedores de cerveza de esta fábrica sufrió daños miocárdicos, en muchos casos con consecuencias fatales. La investigación mostró que la fábrica de cerveza había adicionado sales de cobalto a la cerveza para mejorar exitosamente la espuma. Estas sales de cobalto no fueron excretadas por los órganos humanos, sino que, debido a su concentración en el cuerpo, causaron los terribles daños mencionados. Un cementerio de clientes perteneciente a la fábrica de cerveza no es exactamente una publicidad apropiada para ganar nuevos clientes.

Pero también debe mencionarse que una adición de agentes estabilizadores de espuma afecta también, en la mayoría de los casos, el sabor de la cerveza.

Una posibilidad importante para mejorar la abundancia de espuma y su retención está dada en la forma del vaso de cerveza. Aquí se expresa muy especialmente el carácter del tipo de cerveza –en combinación con la filosofía empresaria de la fábrica de cerveza en lo referente a decoración, mantel decorado, etc.–. Las cervezas muy espumantes, como las de trigo o la cerveza blanca (Weißbier), son expendidas siempre en vasos muy altos (la cerveza blanca se sirve en vasos anchos) a los efectos de recibir la espuma abundante.

De las cervezas del tipo Pilsner se espera una espuma muy rica y estable, cuyos valores de retención se encuentran entre

120 y 130 s según Ross & Clark (R&C)
ó
220 y 290 s según NIBEM
(ver Sección 7.4.3.6).

Esta espuma se muestra en su mejor forma por medio de vasos angostos y altos; también se da preferencia a los vasos más pequeños (0,3 y 0,4 l) (¡mejor dos pequeños que uno grande!). Se pone aquí especial énfasis en un expendio dentro de los tres minutos: se expende primeramente con poca espuma en el vaso inclinado y, luego de estabilizada la capa superior de espuma y que ésta alcance consistencia, ocurre el expendio posterior, en el cual la corona de espuma es empujada en forma estable fuera del vaso. ¡La cerveza tipo Pilsner no puede ser expendida en un solo movimiento! Los equipos modernos de expendio permiten el expendio de una cerveza burbujeante con espuma estable de poros finos, a la cual se le da gran importancia en muchos países.

7.3 Tipos de cerveza y sus particularidades

Existen miles de diferentes marcas de cerveza en la Tierra y cada fábrica de cerveza trata de perfilarse con marcas propias a los efectos de acercarse al gusto de los consumidores y obtener una buena facturación. Muchas de esas marcas de cerveza permiten ser asignadas a determinados tipos de cerveza que se han desarrollado a lo largo del tiempo en algunos países o regiones.

Según la levadura utilizada y el proceso de fermentación resultante de ello, se puede diferenciar primeramente entre dos grandes grupos de tipos de cerveza:

- los tipos de cerveza de fermentación alta y
- los tipos de cerveza de fermentación baja.

A continuación se describen algunos de los tipos de cerveza importantes y sus particularidades, y también algunas tendencias de desarrollo.

7.3.1 Cervezas producidas por fermentación alta

La fermentación alta es la forma original de fabricación de cerveza. La fermentación baja recién se menciona al final del siglo XV y adquiere mayor importancia en la segunda mitad del siglo XIX. Pero aún hace cien años, el 75 por ciento de las cervezas se producía por fermentación alta.

Las cervezas de fermentación alta se desarrollaron en especial

- en Alemania, como cervezas de tipo

Weizenbier, Berliner Weiße, Altbier o Kölsch, pero también como cerveza malteada sin alcohol o doble caramelo, etc.

- en Gran Bretaña, como cervezas de tipo Ale, Porter o Stout, y
- en Bélgica como cervezas de tipo Lambic, Gueuze, trapenses o tipo Wit, etc.

Las cervezas de fermentación alta difieren de las de fermentación baja debido a importantes diferencias en la levadura, así como en los productos de metabolismo de ésta, los cuales otorgan un carácter muy propio a la cerveza. Es por ello que, antes de describir en detalle los diferentes tipos de fermentación alta, se aclararán algunas particularidades de la fermentación alta en comparación con la fermentación baja.

7

7.3.1.1 Particularidades de la fermentación alta

La levadura de fermentación alta se caracteriza por conjuntos gemantes divaricados, que se deshacen recién luego de la fermentación. Estos conjuntos gemantes ligados entre sí son arrastrados hacia arriba por el dióxido de carbono de fermentación, de manera que la levadura se concentra en la superficie y puede ser cosechada allí.

Diferencias fisiológicas entre la levadura de fermentación alta y la de fermentación baja

▶ *Fermentación de rafinosa*

Una característica esencial de diferenciación es la fermentabilidad del trisacárido rafinosa, que puede ser aprovechado de forma total por la levadura de fermentación baja y sólo en un tercio por la de fermentación alta.

▶ *Capacidad de formación de esporas*

La mayoría de las levaduras de fermentación alta ya forma esporas luego de 48 horas. Por el contrario, las levaduras de fermantación baja sólo poseen una reducida capacidad de formación de esporas.

▶ *Productos secundarios de fermentación*

Las levaduras de fermentación alta desarrollan una cantidad considerablemente mayor de productos secundarios de fermentación, tales como alcoholes superiores y ésteres. La levadura de cerveza de trigo posee, aparte de ello, la propiedad de formar

4 vinil guajacol
en cantidades de 0,5 a 3,0 ppm y
4 vinil fenol
en cantidades de 0,1 a 0,7 ppm,

los cuales transmiten el típico sabor y el olor de la cerveza de trigo, que recuerda a clavo de olor.

▶ *Realización de la fermentación alta*

Para entender las particularidades de la fermentación alta interesan en especial los tanques de fermentación para la fermentación alta,

- las particularidades en
- la composición del mosto,
- el inicio de la fermentación,
- el desarrollo de fermentación principal,
- las modificaciones en el mosto,
- la posfermentación y
- el tratamiento de la levadura de fermentación alta.

▶ *Tanques de fermentación para la fermentación alta*

Dado que en la fermentación alta la levadura es levantada de la superficie, los recipientes de fermentación antiguos están abiertos arriba, o al menos están provistos de un rebosadero (Figura 7.1). La levadura es empujada al rebosadero con un cazo o una tabla de empuje, y es acumulada en un piletón. Existen aparte también tanques de fermentación horizontales con una descarga sellable de levadura. El borde inferior de éstos es alcanzado por la cerveza en fermentación.

En tiempos recientes también se utilizan progresivamente más tanques cilindrocónicos en la fermentación alta. Pero la levadura sedi-

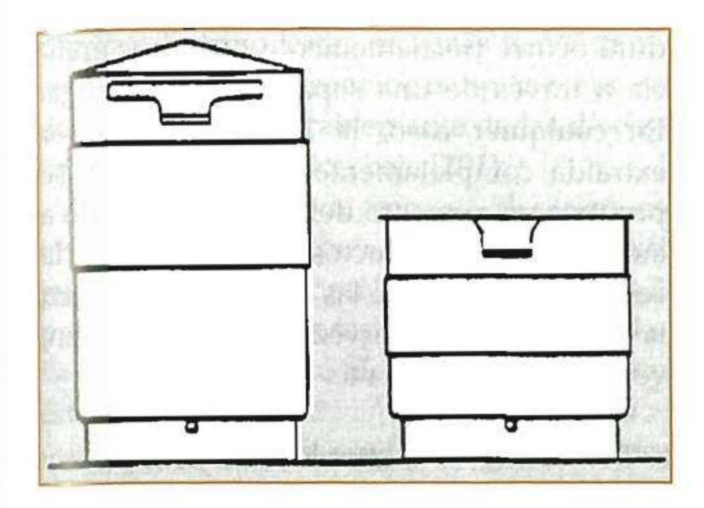


Figura 7.1
Tanques abiertos y cerrados con rebosaderos para fermentación alta

menta en este caso en el cono del recipiente y puede ser cosechada allí. En los tanques cilindrocónicos se requiere, sin embargo, un espacio de ascenso de aproximadamente 50%.

▶ *Particularidades de la composición del mosto*

La cerveza de trigo debe ser fabricada con 50% de malta de trigo como mínimo. Si se procesan porciones mayores (hasta 70%) de malta de trigo, debe asumirse que habrá presente un contenido substancialmente menor de nitrógeno asimilable, el cual entonces deberá ser compensado por medio de malta de cebada bien modificada. Como proceso de maceración se recomienda uno de los procesos descriptos en la Sección 3.2.4.3.1 (Figura 3.40a). De este modo se puede aumentar el contenido de glucosa en el mosto a 35 a 40%, por lo que la composición de los productos secundarios de fermentación se modifica considerablemente y se forman más acetato de etilo y acetato de isoamilo, el último de los cuales es responsable del aroma a bananas en la cerveza de trigo.

▶ *Inicio de fermentación*

El inicio de fermentación ocurre a temperaturas de 12 a 16°C con 0,24 a 0,5 l de levadura/hl. Se airea por medio de uno de los equipos usuales de aireación con un contenido de oxígeno de 5 a 8 mg/l.

▶ *Desarrollo de la fermentación principal*

En la fermentación alta sólo hay que diferenciar dos estados:

- el ascenso de lúpulo y
- el ascenso de levadura.



El ascenso de lúpulo ocurre aproximadamente 8 a 12 horas luego del inicio de fermentación y dura aproximadamente 12 a 24 horas. En esto se separan con la levadura en la superficie sobre todo resinas de lúpulo, que precipitan debido al descenso del pH, y componentes de trub, así como compuestos de proteínas y taninos. Este resultado del ascenso de lúpulo es extraído para obtener una levadura pura.

En la capa en fermentación vigorosa que se forma sobre esto, la levadura en ascenso se separa de forma progresiva. El ascenso de levadura comienza aproximadamente un día (hasta 1,5 días) luego del inicio de fermentación. La levadura es extraída frecuentemente, entonces, preferentemente cada 3 a 6 horas. La temperatura aumenta a 18 a 22°C y la fermentación se desarrolla muy intensivamente, de manera que luego de 48 a 60 horas se alcanza el grado de fermentación necesario en cavas de fermentación.

▶ *Modificaciones en el mosto*

Debido a las temperaturas de fermentación más altas, pero en especial debido a las otras propiedades de la levadura de fermentación alta en comparación con la de fermentación baja, resulta una serie de modificaciones en contraste con la fermentación baja:

Debido a la propagación más intensa de la levadura a temperatura más elevada y la prefermentación más intensa, el valor pH desciende más intensamente hasta 4,0 a 4,2 debido al pH del mosto, que es 5,4 a 5,7.

Los compuestos amargos son separados más intensamente debido a la fuerte caída

del valor pH y al intenso desarrollo de CO_2.

En el caso de los productos secundarios de fermentación se forman substancialmente más alcoholes superiores (alifáticos) y ésteres. La fracción de estos productos secundarios de fermentación puede llegar a ser hasta un 50% más que en fermentación baja.

Una particularidad de las levaduras de cerveza de trigo es su propiedad de descarboxilar el ácido ferúlico presente en el mosto a 4 vinil guajacol. El ácido ferúlico es liberado durante la degradación de los pentosanos, lo cual se puede favorecer durante la maceración por medio de un reposo a 35 a 40°C, un valor pH de 5,7 a 5,8 y una porción de malta de cebada de 40% como mínimo. A temperaturas de fermentación de 22 a 24°C, este 4 vinil guajacol otorga a la cerveza de trigo el sabor típico. Sin embargo, una relación ajustada entre el contenido de 4 vinil guajacol (1,2 a 1,7 ppm) y el de ésteres y alcoholes superiores en la cerveza de trigo es decisiva para el sabor equilibrado de esta última. La forma y el tamaño de los recipientes de fermentación también tienen una influencia decisiva en esto.

Así, una operación de múltiples ciclos en el tanque cilindrocónico de fermentación tiene como consecuencia una disminución en la formación de 4 vinil guajacol. Por el contrario, una permanencia más prolongada de la levadura en la cerveza fermentada aumenta la porción de aquel.

▶ *Posfermentación*

En los procesos modernos se distingue por principio entre la fases de maduración y de resposo. En la fase de maduración se aguarda primeramente la degradación del diacetilo y posteriormente se enfría a aproximadamente 7°C; se extrae la levadura y luego se enfría la cerveza a -1°C. Esto puede ser realizado en el mismo tanque (proceso monotanque) o, mediante un enfriador, en un tanque de reposo en frío. La extracción de la levadura ocurre frecuentemente por transferencia a través de una separadora centrífuga. En cualquier caso, la levadura debe ser extraída completamente, porque, si no, se produce un aumento del valor pH debido a autolisis y los productos de ésta llegan a la cerveza. Respecto de las particularidades en la producción de cerveza tipo Hefeweizen, ver la Sección siguiente.

▶ *Tratamiento de la levadura de fermentación alta*

La limpieza de la levadura cosechada puede realizarse por tamizado si es que es necesario. Puede realizarse un almacenamiento de breve duración de hasta cuatro días bajo cerveza. En el caso de un almacenamiento de hasta 10 días es aconsejable mantener la levadura bajo agua.

El número de ciclos es mucho mayor que en el caso de la fermentación baja. Son usuales 5 a 15 ciclos. Pero también hay fábricas de cerveza que utilizan exitosamente la misma levadura –controlando bien– durante años sin nueva propagación.

Las levaduras de cerveza de trigo pueden perder gradualmente, luego de 2 a 3 ciclos, la capacidad de formación de 4 vinil guajacol. Por ello, en el caso de levaduras de cerveza de trigo, es necesario volver a realizar el cultivo de ellas.

En principio, la propagación de las levaduras de fermentación alta ocurre como en las de fermentación baja.

7.3.1.2 Cervezas de trigo

La cerveza de trigo es una cerveza de fermentación alta con un contenido de mosto original de por lo menos 11%, producida a partir de 50% de malta de trigo como mínimo.

Carácter de las cervezas tipo Hefeweizen

Debido a los componentes aromáticos típicos, que son formados por las levaduras de

cerveza de trigo, estas cervezas tienen también impresiones aromáticas típicas, que se distinguen considerablemente de las de cervezas de fermentación baja [201]:

El aroma típico de cerveza de trigo es influenciado, en primer lugar, por el ***4 vinil guajacol*** (0,2 a 3,2 ppm, en la media 1,5 a 2 ppm), el que debe adaptarse en sabor a elevados contenidos de alcoholes superiores y ésteres.

La formación de 4 vinil guajacol es favorecida por:

- reducidas temperaturas de mezcla,
- un valor pH de maceración de 5,7 a 5,8,
- una porción de malta de cebada del 40% como mínimo,
- la raza de levadura,
- temperaturas de fermentación de 20 a 24°C,
- uno a dos ciclos de la levadura y
- una cosecha temprana de la levadura.

Una operación de ciclos frecuentes de la levadura en el tanque cilindrocónico de fermentación conduce a cervezas neutrales con perfil aromático de ésteres de manzana. Estas cervezas tienen un sabor más bien a cervezas de fermentación baja; el 4 vinil guajacol ya no es comprobable entonces.

Tiempos prolongados de maduración, antes de la cosecha de levadura, a temperaturas más altas empeoran considerablemente el sabor.

De los ésteres, en especial el éster etílico del ácido acético y el éster isobutílico en cantidades de 35 a 40 ppm otorgan una nota aromática a la cerveza. También su cantidad depende de la raza de levadura, del tratamiento de la levadura y del procedimiento de fermentación.

De los alcoholes superiores (normalmente, aproximadamente 150 a 160 ppm) llaman sobre todo la atención el propanol y el metilpropanol; si se encuentran en una proporción de aproximadamente 3-4 : 1 con respecto a los ésteres, es de esperar un sabor equilibrado.

Un contenido más elevado de ácidos grasos (encima de 0,7 ppm) y con ello un mayor contenido de FAN (> 12 mg/100 ml), así como un incremento del pH, son señales de una excreción por parte de la levadura, que tienen un efecto negativo tanto en el sabor como en lo referente a la retención de espuma. La levadura excreta entonces enzimas degradadoras de proteínas (proteinasa A), que pueden empeorar mucho la espuma.

Un problema especial es el aroma a levadura, dado que las levaduras son inactivadas en las cervezas de trigo turbias por levadura, y la porción de células muertas de levadura puede aumentar hasta el 100%. Se espera un aroma neutral o agradable a levadura, pero no un aroma azufrado o insulso, o hasta un sabor a productos de autolisis en la cerveza. También es desagradable el amargor remanente relacionado con esto.

La fabricación de buenas cervezas tipo Hefeweizen requiere una gran experiencia en este campo. Según las células de levadura que quedan en la cerveza de trigo, se distingue entre:

- cervezas tipo Hefeweizen con 1 millón de células de levadura/ml como mínimo y
- cervezas de trigo enturbiadas por levadura con 10 millones de células de levadura/ml.

En el año 2002, las cervezas de trigo se encontraban en tercer lugar, con una porción del 6,3% en las ventas. En esto se puede comprobar una tendencia clara entre el noreste y el sudoeste en lo referente al consumo de cerveza de trigo. Las mayores porciones de venta de cerveza en el país se encontraban (2002) por lejos en

Baviera con	18,2% y
Baden-Württemberg con	13,3%.

Las causas para esta popularidad deben ser buscadas en:

- el alto contenido de dióxido de carbono de 6 a 10 g/l, el cual tiene un efecto refrescante y digestible (siempre que hayan sido

7

resueltos los primeros problemas al verter), y

- el aroma típico de la cerveza de trigo, que está caracterizado por un elevado contenido de ésteres, alcoholes superiores y compuestos fenólicos especiales (4 vinil guajacol).

Se distingue entre dos tipos de cervezas de trigo:

- cervezas de trigo enturbiadas por levadura (Hefeweizen); en estas cervezas se establece directamente antes del envasado el alcance de la fermentación en botella a través de un ajuste preciso del extracto residual y de la cantidad de levadura. En estas cervezas se requiere trabajar de forma precisa;
- cerveza tipo Kristallweizen; ésta es una cerveza de trigo filtrada, opalescente, que ya no contiene levadura.

Fabricación de cerveza tipo Hefeweizen

Las cervezas tipo Hefeweizen se fabrican con muy grandes diferencias de color, que en los tipos claros alcanzan de 8 a 14 unidades EBC y en los tipos oscuros, de 25 a 60 unidades EBC.

El contenido de mosto original se encuentra por lo general en 11 a 12%, pero puede incrementarse a 13%. La porción de malta de trigo varía entre 50 y 100%. El color se logra por adición de malta oscura o malta caramelo oscura, o también malta colorante de trigo (ver Sección 2.9.10).

El proceso de maceración es, en vista de la degradación proteica algo dificultosa, un proceso de dos maceraciones (o proceso de una maceración) con temperaturas de mezcla de 35 a 37°C. Los tiempos de cocción de templa son de 20 a 25 min. La proporción en la colada principal se encuentra en 1:2,8 a 3. La atenuación límite es 78 a 85%. Respecto de un proceso de maceración económico para cerveza de trigo, ver Sección la 3.2.4.3.1 y la Figura 3.40a.

El inicio de fermentación del cocimiento se realiza a aproximadamente 12°C con 0,3 a 1 l de levadura/hl; la fermentación principal comienza de forma muy vigorosa y es realizada a 13 a 21°C en tres a cuatro días hasta la fermentación final. Luego se realiza la cosecha de levadura (en la cuba, por extracción superficial; en tanque cilindrocónico de fermentación, por extracción desde el cono).

A los efectos de obtener suficiente CO_2 para la posfermentación, debe adicionarse nuevamente mosto rico en extracto. Existen dos posibilidades para ello:

- se adiciona "Speise" (del alemán: comida). Por Speise se entiende una cantidad de primer mosto dosificada exactamente (aproximadamente 6 a 7%), la cual, sin embargo, debe ser esterilizada previamente. De esta manera se produce una diferencia con la atenuación límite de aproximadamente 12% y se alcanza un enriquecimiento suficiente de CO_2 por fermentación del extracto agregado, o
- se adiciona mosto caliente o
- Krausen de fermentación baja con 9 a 10% de lectura de densímetro en la cuba de mezcla y se prosigue fermentando bajo presión.

En los primeros casos es necesaria una nueva adición de levadura para la posfermentación, en que por lo general se utiliza levadura de fermentación baja. El enturbiamiento en la cerveza tipo Hefeweizen no es necesariamente debido a la levadura. Un enturbiamiento por proteínas cumple el mismo cometido y no sedimenta.

En los procesos de mezcla luego de la fermentación principal se debe cuidar de que no haya una una absorción de oxígeno.

Una especialidad en la cerveza tipo Hefeweizen es la fermentación en botella. En esto se distingue entre:

- fermentación en botella, sin reposo intermedio en tanque y
- fermentación en botella, con reposo intermedio en tanque.

Fermentación en botella, sin reposo intermedio en tanque

La cerveza verde mezclada con "Speise" y levadura es envasada en botellas y reposada en dos etapas:

- 1ª etapa: 3 a 7 días a 12 a 20°C; en esto, el extracto es fermentado hasta 0,1 a 0,2% y se reduce el diacetilo. La presión en la botella aumenta a 1,5 a 2 bar (m).
- 2ª etapa: 14 a 21 días a 5°C; la presión permanece en aproximadamente 2 bar (m).

Fermentación en botella, con reposo intermedio en tanque

En el proceso con reposo intermedio en tanque, luego de una breve prefermentación, la cerveza se termina de fermentar en tanques (6 días en tanque caliente, 14 días en tanque frío a 1°C) y es madurada en este proceso. Luego se fermenta en botella.

Unas cervezas normales de trigo (fermentación en botella) tenían los siguientes valores analíticos promedio [200]:

contenido de mosto original	12,20%
contenido aparente de extracto	2,33%
contenido real de extracto	4,22%
contenido alcohólico	4,12 % en masa
contenido alcohólico	5,26 % en vol.
atenuación alcanzada	81,6%
valor pH	4,32
color, cervezas claras	10,9 EBC
color, cervezas oscuras	36,9 EBC
unidades de amargor	17,9 IBU
retención de espuma (R&C)	126 s

Fabricación de cerveza tipo Kristallweizen

La cerveza libre de levadura es fabricada por lo general con 12,5 a 13% y tiene un color de 8 a 12 unidades EBC. La carga de malta está compuesta en un 50 a 70% de malta pálida de trigo con adición de maltas colorantes especiales. El proceso de maceración se desarrolla como en el caso de la cerveza tipo Hefeweizen. El tratamiento hasta la fermentación principal ocurre de forma normal, pero directamente después de la fermentación principal se realiza un trasiego, sin enfriamiento y con aproximadamente 12% por debajo de la atenuación final, a un tanque caliente. En el tanque caliente, la presión se regula a 4 a 5 bar (m) y en 3 a 7 días se realiza el enfriamiento a aproximadamente 8°C.

Posteriormente se trasiega bajo adición de levadura o Krausen a un tanque frío y se refrigera en el término de 10 días a 0°C y 5 bar (m). Una semana antes de realizar la filtración se refrigera a -2°C y se mantiene esta temperatura hasta el envasado.

Junto con las cervezas normales tipo Hefeweizen fermentadas en botella se fabrican también muy frecuentemente –como cervezas claras u oscuras–:

- cerveza de trigo de exportación, fermentada en botella y con 12 a 13% de contenido de mosto original,
- cerveza de trigo tipo Bock con 16% de contenido de mosto original o tipo Doppelbock con 18%,
- cerveza de trigo ligera con 6,5 a 8,5% de contenido de mosto original, o
- cerveza de trigo sin alcohol, como cerveza servida en la barra, con 4,5 a 7,0% de contenido de mosto original.

Una confusión en la definición con la siguiente cerveza tipo Weißbier está dada regionalmente; así, especialmente en Bavaria, la cerveza de trigo se denomina frecuentemente Weißbier.

7.3.1.3 Cerveza tipo Berliner Weiße

La cerveza tipo Berliner Weiße es clara, con sedimento natural, con aproximadamente 7,5% de contenido de mosto original, un contenido alcohólico de aproximadamente 2,7 a 2,8 % en vol. y un contenido de CO_2 de 0,7%, que es fabricada utilizando 35 a 50% de malta de trigo. La fermentación ocurre con un cultivo mixto de levadura de fermentación alta y lactobacilos, que viven juntos en una simbiosis. De esta manera, la

cerveza tipo Weißbier se pone ácida al final de la fermentación, con un valor pH de 3,2 a 3,4. En algunas fábricas de cerveza tipo Weißbier se vuelve a adicionar mosto y levadura a la cerveza y se realiza la posfermentación como fermentación en botella. El ácido láctico formado estabiliza la cerveza, de manera que ésta puede ser guardada durante años en la botella, donde el sabor continúa madurando debido a una lenta degradación del ácido bajo formación de substancias de bouquet. El mosto no es cocido en la fabricación de cerveza tipo Weißbier, sino que se lo mantiene durante 25 a 30 min a aproximadamente 95°C; la reducida dosificación de lúpulo es realizada (20 a 30 g/hl) en la templa.

7

La cerveza tipo Berliner Weiße es la más conocida entre las cervezas tipo Weißbier y es servida en vasos anchos. La bebida efervescente con su sabor floral calma mucho la sed. A los efectos de atenuar el sabor ácido, muchos clientes beben la Berliner Weiße "mit Schuss" (en alemán: mit Schuss = con chorro); es decir, con un pequeño chorro (rojo) de jarabe de frambuesa (en primavera) o con un chorro (verde) de jarabe de aspérula. De este modo, la Berliner Weiße puede tener diferentes colores. En tiempos recientes, la Berliner Weiße es envasada, ya mezclada con jarabe, lista para beber. En algunos casos, la Berliner Weiße es fabricada también con un mayor contenido de mosto original.

Aparte de la Berliner Weiße, sólo pocas cervezas tipo Weißbier han alcanzado una notoriedad mayor que la local. Se debe mencionar la "Leipziger Gose", una cerveza de ácido láctico (originariamente proveniente de Goslar), que era tomada de vasos tubo y que obtiene un sabor ácido propio por adición de sal y cilantro.

7.3.1.4 Cerveza tipo Alt (Altbier)

La cerveza tipo Alt es una cerveza de fermentación alta fabricada "a la antigua", para cuya fabricación se utilizaban maltas de cebada y de trigo. La cerveza tipo Alt es de color ámbar oscuro, tiene sabor amargo, vigoroso y también rústico.

La cerveza tipo Alt tiene un contenido de mosto original de 11,5 a 12% y un contenido de alcohol de 4,8 a 5% en vol. El color se encuentra entre 30 y 38 unidades EBC y el amargor en 30 a 40 unidades IBU.

Las fábricas de cerveza tipo Alt se encuentran casi sin excepción en la región del Bajo Rhin; aun así, la cerveza tipo Alt, que recién fue redescubierta hace unas pocas décadas –pero con una calidad mejorada considerablemente–, es distribuida en toda Alemania. La porción de la cerveza tipo Alt en las ventas totales de cerveza era del 3,2% en el año 1997; el 11,5% de la cantidad total se bebe en Renania del Norte-Westfalia.

Como mezclas de malta se tienen en cuenta:

- 99% de malta pálida y 1% de malta colorante,
- 90% de malta oscura y 10% de malta pálida, o
- 70% de malta tipo Viena, 20% de malta tipo Munich y 10% malta de trigo (ver Sección 2.9.10).

Los procesos de maceración empleados no se diferencian de los conocidos; la dosificación del lúpulo ocurre en 3 a 5 adiciones; sin embargo, se imponen las más altas exigencias a la calidad del lúpulo.

La fermentación es iniciada

- con 0,5 l de levadura/hl a 12°C, con temperatura máxima de 16°C o
- con dosificación habitual de levadura a 18°C, con temperatura máxima de 20°C.

Luego del enfriamiento a 14 a 16°C se extrae una parte de la levadura y se aguarda la degradación del diacetilo; luego es refrigerada a 0°C y se la deja reposar en frío durante 1 a 2 semanas.

7.3.1.5 Cerveza tipo Kölsch

La cerveza tipo Kölsch es áspera y clara, y sólo está permitido producirla en Colonia

(Kölsch-Convention). La cerveza tipo Kölsch es fabricada con un contenido de mosto original de 11,2 a 11,5%, tiene un color de 7 a 10 unidades EBC, un amargor de 16 a 35 unidades IBU y un contenido alcohólico de 4,6 a 5,1 % en vol.

La cerveza tipo Kölsch tenía en 1996 los siguientes valores promedio [200]:

contenido de mosto original	11,28%
contenido de extracto aparente	2,27%
contenido de extracto real	4,01%
contenido alcohólico	3,74 % en masa
contenido alcohólico	4,77 % en vol.
atenuación aparente	80,6%
valor pH	4,44
color	8 EBC
retención de espuma (R&C)	120 s

La cerveza tipo Kölsch tiene una porción de mercado de 2,1%, que está casi exclusivamente restringida a la región de Colonia.

Para la fabricación se utiliza generalmente malta tipo Viena con hasta 20% de adición de malta de trigo para obtener el cuerpo y el toque justo del sabor. Se macera por el proceso de infusión o por el de una maceración. La fermentación principal ocurre durante tres a cuatro días a temperaturas de 14 a 18°C. Luego se enfría a 8 a 10°C y se trasiega con el extracto residual. El reposo dura

- a temperaturas de 4 a 5°C, 40 a 60 días,
- a 0 a 1°C, 14 a 40 días con fase previa de maduración.

7.3.1.6 Cervezas tipo Ale

El término Ale es abarcativo para varios tipos de cerveza, generalmente oscura, pero siempre inglesa y de fermentación alta, para cuya producción se emplean maltas bien modificadas. La cerveza se fabrica por el proceso de infusión, pero a veces también por el proceso de maceración por saltos o por el de maceración por adición de agua caliente.

Usualmente se utilizan adjuntos para la fabricación de cerveza tipo Ale, pero para algunas cervezas sólo se usa materia prima según la Ley de Pureza Reinheitsgebot.

El contenido alcohólico de la cerveza tipo Ale puede variar entre 3 y 10%; sobre esa base se las denomina "light", "heavy", "export" o "strong". Muchas cervezas especiales tipo Ale se fabrican hoy en día para un determinado período (por ejemplo, uno o dos meses) con adición de adjuntos tales como miel, jengibre o cáscaras de naranja. Esto es el renacimiento de un tipo de Ale conocido bajo la denominación India Pale Ale, que originariamente se fabricaba con un elevado contenido alcohólico y estaba altamente lupulado. De esta manera se mantenía estable por mucho tiempo cuando se lo transportaba por barco a la India o a algún otro lugar por mar.

La cerveza tipo Pale Ale es por lo general una Ale al 11% de color cobrizo con un contenido alcohólico de 4,5 a 5,0% en vol. El color es 15 a 30 unidades EBC; el amargor varía entre 20 y 25 unidades IBU. La cerveza tipo Pale Ale se comercializa generalmente como cerveza embotellada.

La cerveza tipo Bitter (Ale), por el contrario, es una cerveza más oscura de color castaño marrón, que se comercializa generalmente como cerveza de barril altamente lupulada con 25 a 40 unidades IBU y con un sabor seco. El Bitter es el tipo principal de las cervezas de fermentación alta. El contenido de mosto original varía de 9 a 13%; el contenido alcohólico se encuentra entre 4,0 y 5,5% en vol.

La cerveza tipo Mild Ale es más dulce y oscura, porque se utiliza malta caramelo y se adiciona azúcar caramelizada en la paila. La cerveza tipo Mild Ale tiene normalmente un menor contenido alcohólico de aproximadamente 3,0 a 3,5% en vol. El color es, con 40 a 50 unidades EBC, muy oscuro y el amargor de lúpulo es menor, con 20 a 25 unidades IBU.

Originariamente se llamaba Mild Ale a cervezas relativamente jóvenes, de fermentación aún incompleta. Estas cervezas podían ser bebidas en grandes cantidades por las personas que realizaban gran esfuerzo labo-

ral. Pero tales trabajos son hoy en día cada vez más escasos. En la actualidad se prefieren cervezas menos dulces y de mayor contenido alcohólico, tales como las de los tipos Bitter, Pale Ale o Lager.

La cerveza tipo Scotch Ale se fabrica con maltas aromáticas y por ello tiene un fuerte acento a malta. El color se encuentra entre 20 y 25 unidades EBC, el amargor, entre 30 y 50 unidades IBU.

7

La denominación Scotch Ale se usa a veces para una especialidad muy oscura y fuerte con saborcillo a malta:

- Heavy Ale con contenido de mosto original de 8,5 a 9,5%,
- Export Ale con contenido de mosto original de 10 a 11%.

La cerveza tipo Brown Ale es una Ale al 14% con sabor a malta con un contenido alcohólico de hasta un 6% en vol. Con valores EBC de 60 a 120, el color es pronunciadamente oscuro. La cerveza tipo Brown Ale tiene un amargor de 20 a 35 unidades IBU.

7.3.1.7 Cerveza tipo Stout

La cerveza tipo Stout es, con hasta 200 unidades EBC, una cerveza negra de fermentación alta, fabricada a partir de una mezacla de maltas pálidas muy bien modificadas y 10 a 20% de maltas fuertemente colorantes, tales como malta oscura o malta caramelo. Guinness, que continúa siendo el mayor fabricante de cerveza tipo Stout, utiliza para ello 10% de cebada tostada. Con 600 a 700 g/hl, la dosificación de lúpulo es muy alta (40 a 50 unidades IBU). En la paila se adiciona además azúcar caramelizada.

Debido a sus aditivos, la cerveza tipo (dry) Stout tiene un fuerte sabor a tostado y un amargor fuerte. La cerveza tipo Stout fabricada por Guinness tiene un sabor menos dulce, pero sin remanente amargo. Por medio de la utilización de nitrógeno para el despacho desde kegs o de widgets en las latas se forma una espuma voluminosa de poros finos.

Otros fabricantes de Stout han psasado entretanto también al empleo de gas nitrógeno en el despacho, de manera que la posición predominante de Guinness ya no existe más.

El contenido de mosto original se encuentra en 11,5% y el contenido alcohólico, en 4,5 a 5,0% en vol.

Por cerveza tipo sweet Stout se entiende una Stout tan negra como la dry Stout con un contenido de mosto original de 10,5 a 11,5% y un contenido alcohólico de aproximadamente 4,0% en vol. Pero el sabor formado es más suave debido a la adición de lactosa y vitaminas.

7.3.1.8 Cerveza tipo Porter

La cerveza tipo Porter es una cerveza muy oscura. Tiempo atrás, el Porter era un tipo de cerveza importante en Inglaterra, pero entre tanto ha sido desplazado completamente por los tipos Stout y Bitter. La cerveza tipo Porter se ofrece hoy en día como cerveza oscura (aproximadamente 300 unidades EBC) y amarga (aproximadamente 40 unidades IBU) con un contenido de mosto original de 13 a 14% y 4,5 a 5,0% en vol. de alcohol.

Durante mucho tiempo, la cerveza tipo Porter se fabricó como cerveza muy fuerte y oscura. Sin embargo, un pequeño grupo de cerveceros todavía fabrica pequeñas cantidades de Porter con aproximadamente 9% en vol. de alcohol. En esto utilizan para la posfermentación a veces también –como originariamente– levaduras *Brettanomyces* con células alargadas, que otorgan a la cerveza un sabor frutado. Las levaduras *Brettanomyces* trabajan muy lentamente, pero son capaces de subsistir aún después de años.

7.3.1.9 Tipos de cerveza belgas

Las cervezas belgas son deslumbrantes y muy interesantes en su variedad de sabores. Muchas cervezas son fermentadas utilizando levaduras especiales, en parte también levaduras de posfermentación. A veces también se

realizan fermentaciones bajo inclusión de bacterias formadoras de ácidos, donde el ácido decrece con reposo progresivo y permite detectar notas características más suaves.

Respecto de las especialidades se detallan aquí sólo brevemente las siguientes:

Cervezas trapenses

Se las produce en las fábricas de cerveza pertenecientes a monasterios de los monjes trapenses [170]. Cinco de estos monasterios se encuentran en Bélgica y uno se encuentra en los Países Bajos.

Las cervezas se fabrican por el proceso de infusión y utilizando 10 a 15% de malta caramelo. Se las lupula predominantemente con lúpulo entero y al mosto se le adiciona azúcar candé líquido. La fermentación ocurre con una levadura propia del monasterio, de fermentación alta, a 20 a 25°C. A 0 a 5°C se efectúa una posmaduración. Antes del envasado en botellas se adicionan todavía azúcar y levadura, y las botellas son sometidas durante tres a seis semanas, en salas de reposo climatizadas, a una maduración en caliente a aproximadamente 25°C. Las cervezas son estables hasta cinco años. A través de la adición repetida de azúcar, las cervezas trapenses alcanzan un contenido de alcohol elevado y hasta en parte muy elevado. Los productos secundarios de fermentación formados simultáneamente de manera abundante otorgan a las cervezas trapenses matices de sabor interesantes. Se fabrican en

Brasserie de Rochefort

Rochefort 6 con 7,5% en vol. de alc.
Rochefort 8 con 9,2% en vol. de alc.
Rochefort 10 con 11,3% en vol. de alc.

Brasserie d'Orval

Bière Trappiste Orval
con 6,2% en vol. de alc.

Brasserie de Chimay

Chimay Capsule Rouge
con 7% en vol. de alc.
Chimay Capsule Blanche
con 8% en vol. de alcohol
Chimay Capsule Bleue
con 9% en vol. de alcohol

Brouwerij Westvleteren

Westvleteren 6 (roja)
con 6,2% en vol. de alcohol
Westvleteren 8 (azul)
con 8% en vol. de alcohol
Westvleteren 12 (marrón)
con 11% en vol. de alcohol

Brouwerij Westmalle

Westmalle Dubbel
con 7% en vol. de alcohol
Westmalle Tripel
con 9% en vol. de alcohol

Cerveza tipo Lambic

La cerveza tipo Lambic es una cerveza belga singular con una paleta de sabores extraordinariamente amplia. La cerveza tipo Lambic se fabrica sobre todo en Bruselas, en cuyos alrededores también es producida por muchas pequeñas fábricas de cerveza. La Lambic es una cerveza de fermentación espontánea con una porción de trigo de 30 a 40%. La cebada sólo es malteada levemente, en tanto que el trigo es procesado sin maltear. La cocción es realizada durante un tiempo muy prolongado y con lúpulo natural, el cual ya se encuentra fuertemente oxidado. La fermentación ocurre de forma salvaje y la cerveza, entonces naturalmente ácida, reposa durante medio año y a veces más (hasta tres años); se forma así un sabor interesante que caracteriza a esta cerveza.

El contenido de mosto original es de 11,5 a 13,5%; el contenido alcohólico es aproximadamente 4,5 a 5% en vol.

La cerveza tipo Lambic es la base para la producción de cervezas frutadas (***Kriek y Framboise***).

La Kriek es una variante de la Lambic, a la que se añaden cerezas en el barril.

Esta cerveza es llamada Framboise cuando se adicionan frambuesas.

Cerveza tipo Gueuze

La cerveza tipo Gueuze es oscura, sin fil-

trar, con una fuerte nota a manzanas, pero es bien ácida como la Berliner Weiße. La cerveza tipo Gueuze se fabrica en diferentes variantes, frecuentemente por fermentación ulterior en las botellas, por mezcla con cerveza normal o jugo de frutas.

Para la fabricación de la cerveza tipo Gueuze no existen instrucciones unívocas.

Por Faro debe entenderse la versión de Lambic endulzada, con 4 a 6% en vol. de alcohol.

Cerveza tipo Duvel

La cerveza tipo Duvel (Diablo) tiene aspecto claro como una Pilsner y un sabor suave y abocado. Tiene una espuma densa y durable, pero, con 8,2% en vol. de alcohol, es de alto porcentaje alcohólico. La Duvel obtiene el sabor característico de la levadura.

Witbier Belga

La cerveza tipo Witbier se fabrica, utilizando 50% de adjuntos de trigo, cáscaras de naranja secas y molidas, y cilandro, como cerveza clara de fermentación alta con un contenido de mosto original de 12%. El contenido alcohólico se halla en aproximadamente 5% en vol. El sabor de la Witbier tiende a dulce-áspero.

7.3.2 Tipos de cerveza de fermentación baja

El desarrollo de los tipos actuales de cerveza clara de fermentación baja ocurrió recién en el siglo XIX y estuvo ligado a una serie de circunstancias y desarrollos:

- Con la invención de la máquina frigorífica (1871) por Linde fue posible mantener temperaturas bajas durante la fermentación y el reposo de la cerveza, independientemente de las condiciones medioambientales.
- Con el desarrollo del soplado mecánico del vidrio fue posible producir económicamente botellas y vasos, que pasaron a ocupar el lugar de las jarras de arcilla que eran usuales antes. De esta manera se podía examinar el contenido del vaso.
- Con la invención de la filtración de cerveza mediante masa filtrante (1878) por Lorenz Enzinger fue posible filtrar la cerveza para que ésta fuera totalmente brillante, lo cual desde entonces pasó a ser un criterio esencial de calidad.

Hasta fines del siglo XIX, la cerveza de fermentación baja que se bebía en Europa Central era casi únicamente aquella que se fabricaba según el método de producción bávaro; este tipo de cerveza, también llamada tipo Munich (en alemán: Münchner), era oscura, poco lupulada, muy abocada e inicialmente sólo se la bebía en jarras de arcilla.

El cambio vino con la aparición de cervezas claras, fabricadas según el método de producción de Bohemia. En esto era líder la Bürgerliche Brauhaus en Pilsen, que más tarde pasó a ser la Pilsner Urquell-Brauerei (Plzenske Prazdroj). En Pilsen se desarrolló en 1842 el tipo original de la cerveza tipo Pilsner, el cual, debido a su sabor, su rescencia y su digestibilidad, fue un punto de inflexión en la forma de fabricar cerveza para pasar de la fermentación alta a la fermentación baja.

7.3.2.1 Cervezas tipo Pilsner

Las cervezas según el tipo Pilsner son por lejos las cervezas más bebidas en Alemania (2002), con una porción del 68,6% de las ventas de cerveza [213]. Se puede observar claramente una diferencia notable entre los estados federales del Norte y del Este (Schleswig-Holstein, Hamburgo 85,0%, Sajonia-Anhalt 82,3%, Berlín 81,8%), por un lado, y Baden-Württemberg (48,7%) y Baviera (31,7%), por el otro.

Las cervezas del tipo Pilsner tienen en Alemania un contenido promedio de mosto original de 11,6%. Sin embargo, éste varía dentro del rango usual entre aproximadamente 11,3 y 12,2% (10,2 - 14,0).

En el año 2002, las 375 cervezas alemanas tipo Pilsner, analizadas en el Laboratorio Central de la VLB Berlín, mostraban los siguientes valores promedio [275] (selección):

contenido de mosto original	11,57%
contenido de extracto aparente	2,04%
contenido de extracto real	3,84%
contenido alcohólico	3,98% en peso
contenido alcohólico	5,07% en vol.
atenuación límite	85,0%
atenuación alcanzada	83,0%
valor pH	4,39
color	7,0 EBC
unidades de amargor	28,8 IBU (19-44)
retención de espuma (R & C)	122 s
retención de espuma (NIBEM)	277 s
viscosidad	1,60 mPa·s
antocianógenos	54 ppm
fenoles totales	133 ppm
enturbiamiento a 20°C	0,4 EBC
prueba forzada (días cálidos)	> 2
aire en espacio de cabeza	0,23 ml (0,1-0,5)
β-glucanos	306 ppm
dextrinas	0,41 %
hidratos de carbono utilizables	2,43 g/100 ml
energía fisiológica	40 kcal/100 ml = 168 kJ/100 ml
coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ)	40-45
dicetonas vecinales (diacetilo)	0,08 ppm

En cuanto a su color, hay diferencias considerables en las cervezas tipo Pilsner. Muchas fábricas de cerveza ponen énfasis en tener una cerveza tipo Pilsner muy clara, con valores de color de 4,5 a 7 unidades EBC, en tanto que otras favorecen una cerveza tipo Pilsner más oscura, con valores de color de 8 a 10 unidades EBC.

La tendencia general se inclina siempre hacia la cerveza tipo Pilsner muy clara y seca.

El factor que da especial valor en la cerveza tipo Pilsner es el amargor de lúpulo de alta calidad, que debe transmitir a la cerveza un sabor agradable, finamente áspero. Desde este punto de vista, la elección de la variedad de lúpulo adicionada así como también el momento de la dosificación de lúpulo tienen una importancia muy especial. En lo que respecta a la intensidad y pureza del aroma fresco y áspero de lúpulo, las cervezas tipo Pilsner se caracterizan por una diferencia notable en el sabor amargo desde el Norte hacia el Sur.

En lo que respecta a su contenido de unidades de amargor, las cervezas tipo Pilsner examinadas fluctuaban de forma muy considerable entre 21 y 42 unidades, y expresan también las diferentes expectativas en lo referente al amargor, que varía entre "frisio áspero" y "sólo leve". En general, el amargor de las cervezas tipo Pilsner ha disminuido en los últimos años, lo cual se corresponde con la tendencia general hacia cervezas menos amargas.

En contraposición al tipo alemán de las cervezas Pilsner están las cervezas Bohemia, representadas por la Pilsner Urquell (Plzenske prazdroj), en cuya fabricación se da preferencia a todos los factores que conducen a un sabor expresivo y un color algo más oscuro (proceso intensivo de tres maceraciones, cocción del mosto por más de dos horas, etc.). Este "tipo Bohemia" tiene su clientela típica, que de ninguna manera está separada por fronteras territoriales. Es por ello que se puede dividir sin exageraciones a los bebedores de cerveza tipo Pils, que componen la mayoría de los bebedores de cerveza en Europa Central, en estos dos "campos": cervezas tipo Pilsner alemanas muy claras y secas, y cervezas más oscuras del tipo Urquell de Bohemia.

7.3.2.2 Cervezas tipo Lager/Cervezas normales (Vollbiere)

El tipo de cerveza Lager no está definido exactamente por alguna cualidad. Se le adju-

7

dica hoy en día aproximadamente el 80 al 90% de todas las cervezas de fermentación baja producidas mundialmente, incluyendo la cerveza normal, llamada Vollbier en Alemania. Básicamente, todas las cervezas que no pueden ser asignadas a ningún tipo determinado son cervezas tipo Lager o cervezas normales. Estas cervezas tampoco están provistas entonces de tipificación alguna, sino que se les da nombres de fantasía publicitariamente efectivos, que aluden al nombre de la fábrica de cerveza o a la localidad en que ésta está ubicada.

Las cervezas tipo Lager tienen un contenido de mosto original que generalmente se encuentra entre 10,5 y 12,5%, y un contenido alcohólico de 4,7 a 5,3% en vol. Son moderadamente amargas, con 18 a 23 unidades IBU.

La representante alemana de las cervezas tipo Lager es la cerveza normal (Vollbier), que es producida usualmente en la versión clara. Las cervezas normales tenían en Alemania en el año 1997 una porción del mercado de 3,6%, con porciones insignificantes en los distintos estados federales; este tipo ha alcanzado únicamente en Baviera una porción de 26,1% [213].

Las cervezas normales claras muestran la siguiente composición promedio [200]:

contenido de mosto original	11,65 %
contenido de extracto aparente	2,28 %
contenido de extracto real	4,05 %
contenido alcohólico	3,91% en masa
contenido alcohólico	4,99% en vol.
atenuación límite	81,4%
atenuación alcanzada	81,1%
valor pH	4,58
color	7,8 EBC
unidades de amargor	21 IBU
retención de espuma (R&C)	117 s

Las cervezas tipo Lager o normales oscuras frecuentemente son producidas más fuertes. Con 12,5% (11,8 a 13%) dan una impresión más intensa; tienen, con 5 a 5,2% en vol. , más de alcohol y, con 18 a 20 unidades IBU, menos amargor de lúpulo. Con 30 a 40 unidades EBC, el color es notablemente más oscuro. La cerveza tipo Lager oscura tiene sabor y aroma a malta debido a la utilización de maltas especiales (tipo Munich - ver Sección 2.9.10). Las cervezas negras dejan una impresión aún más intensa.

La composición promedio de las cervezas normales oscuras es [200]:

contenido de mosto original	12,18 %
contenido de extracto aparente	3,03 %
contenido de extracto real	4,76 %
contenido alcohólico	3,83% en masa
contenido alcohólico	4,90% en vol.
atenuación alcanzada	76,0%
color	60 EBC
unidades de amargor	22 IBU

7.3.2.3 Cervezas tipo Export

Bajo esta denominación se ofrecen cervezas fabricadas algo más fuertes. La denominación Export se presta a confusiones, porque estas cervezas no son exportadas. Con una porción del 7,3% de las ventas totales de cerveza (2002) en Alemania, el tipo Export, en cuya categoría se cuentan también los tipos Edel y Spezial, es el tipo de cerveza de fermentación baja posicionado en segundo lugar, detrás del tipo Pilsner. El tipo Export corresponde al antiguo "tipo Dortmunder".

El tipo Export es una cerveza fabricada usualmente clara con un contenido de mosto original de 12,5 a 13,5%. Por consiguiente está fabricada notablemente más fuerte que la cerveza tipo Pilsner. El contenido alcohólico de la cerveza tipo Export se encuentra en promedio en 5,5% en vol. (4,8 a 5,9) = 4,3% en masa (3,7 a 4,6).

Con 20 a 25 unidades de amargor pone menos énfasis en el lúpulo que el tipo Pilsner. Sin embargo, es notablemente más amarga que la cerveza clara, es agradable al paladar y suave y aromática en el sabor. En el color, el tipo Export es, con 8 a 15 unidades EBC, algo más fuerte que el tipo Pilsner.

La cerveza tipo Export posee los siguientes valores promedio [200]:

contenido de mosto original	12,47%
contenido de extracto aparente	2,42%
contenido de extracto real	4,32%
contenido alcohólico	4,22% en masa
contenido alcohólico	5,38% en vol.
atenuación alcanzada	81,3%
valor pH	4,61
color	8,2 EBC
unidades de amargor	23,2 IBU
retención de espuma (R&C)	118 s

La cerveza tipo Export oscura es, con 45 a 100 unidades EBC, una cerveza muy oscura, con respecto a la cual también existe frecuentemente la tendencia a fabricarla algo más fuerte (13%) para obtener el cuerpo necesario.

7.3.2.4 Cervezas negras

Las cervezas negras se caracterizan por su color particularmente oscuro (100 a 150 unidades EBC), con un contenido de mosto original de 11,5 a 11,8% y un contenido alcohólico de 4,8 a 5% en vol. Las maltas utilizadas para la fabricación otorgan a esta cerveza un sabor torrefacto, pero no chamuscado, el que hace que la cerveza sea, en combinación con el contenido alcohólico, de sabor bastante abocado. El amargor es a menudo más fuerte que en el tipo Export.

Las cervezas negras se caracterizan frecuentemente por tener un alto grado de popularidad a nivel regional.

7.3.2.5 Cervezas de festividades

Las cervezas de festividades son cervezas de temporada, que se fabrican con motivo de festividades especiales. De acuerdo con el carácter de la festividad son generalmente cervezas claras, fabricadas con un mínimo de 12 a 12,5% de extracto, de paladar agradable y sabor abocado. Más raramente, estas cervezas son fabricadas como cervezas oscuras.

La cerveza de festividades para la Oktoberfest (fiesta de la cerveza en octubre) en Munich se fabrica con 13,5 a 14% de extracto. Así, luego de haber bebido varios jarros de ella, muestra su efecto visiblemente incapacitante.

7.3.2.6 Ice beer

La Ice beer no es en realidad un tipo de cerveza, aunque se la ofrezca como tal. El nombre se refiere al proceso de fabricación (ver Sección 4.9.2); en éste se separan substancias albuminoideas y taninos, y el sabor de la cerveza pasa a ser, con un contenido alcohólico levemente aumentado, más suave y blando, y con ello menos expresivo.

Sobre todo en Norteamérica, la cerveza es expendida, además, en lo posible helada y en vasos prehelados. Si bien esto enfría, el sabor recién puede desenvolverse a temperaturas de bebida más elevadas (8 a 10°C).

7.3.2.7 Cerveza tipo Märzen

El nombre Märzen proviene del hecho de que antaño en algunas fábricas de cerveza se fabricaba en primavera, en marzo, una cerveza más fuerte, que era muy popular.

La cerveza tipo Märzen, con un contenido de mosto original de 13 a 14%, es relativamente fuerte y se encuentra entre las cervezas claras y las oscuras, en lo que al color se refiere. Hoy en día se fabrican cada vez más dos tipos de Märzen:

- un tipo claro con 11 a 12 unidades EBC (9 a 19) y
- un tipo oscuro con 40 a 60 unidades EBC.

Debido al contenido de mosto original más alto y un elevado grado de fermentación de 80% y más, el contenido alcohólico es bastante alto, con 5,7% en vol. (4,7 a 5,9). El Märzen es un tipo de cerveza que se fabrica en pequeñas cantidades. La oferta debería restringirse a períodos de tiempo limitados.

Los valores promedio de las cervezas tipo Märzen en Alemania eran en el año 1996 [200]:

contenido de mosto original	13,31%

7

contenido de extracto aparente	2,83%
contenido de extracto real	4,81%
contenido alcohólico	4,42% en masa
contenido alcohólico	5,65% en vol.
atenuación alcanzada	79,6%
valor pH	4,53
retención de espuma (R&C)	125 s

7

7.3.2.8 Cerveza tipo Bock

El nombre Bockbier (cerveza tipo Bock) proviene de la cerveza de la ciudad de Einbeck, Baja Sajonia, cuyas cervezas ya eran muy famosas hace alrededor de 500 años junto con la Braunschweiger Mumme (Mumme = extracto de malta espeso). La cerveza de Einbeck (Ainpöckisch) también llegó a Baviera, donde el nombre se transformó en "Oambock" y finalmente en el nombre "Bock".

Con un contenido de mosto original de 16 a 17%, las cervezas tipo Bock son fabricadas fuertes y se ofrecen generalmente por temporadas (Maibock (por el mes de mayo), Herbstbock (por el otoño), Weihnachtsbock (por la Navidad), y, más raramente, durante todo el año. La fabricación de la cerveza tipo Bock requiere gran pericia porque, debido a la fermentación y el reposo más prolongados, se forman considerablemente más substancias de bouquet, que influencian el sabor de la cerveza de forma más o menos notable, pero en cualquier dirección. Así, la cerveza tipo Bock no resulta igual todos los años, y también se debería diferenciar las cervezas tipo Bock según la temporada. Así, por ejemplo:

- la Maibock, algo más clara, seca y amarga, y
- la Weihnachtsbock, más intensa, más llena y más suave [114].

En especial, en la cerveza tipo Bock debería tenerse en cuenta que todas las cervezas tienen un punto de culminación, hasta el cual mejoran en calidad en la bodega de maduración. Las cervezas tipo Bock pueden estar en reposo durante tres a cuatro meses si, habiéndoseles adicionado Krausen, se las deja reposar en una bodega muy fría. Pero se debe controlar de forma muy precisa que la levadura no realice autolisis y empeore con ello la calidad. El riesgo de que se presente prematuramente un sabor a envejecimiento es muy grande en la cerveza tipo Bock.

Las cervezas tipo Bock son fabricadas muy claras (8 a 13 unidades EBC) u oscuras (45 a 100 unidades EBC). Aun a pesar de su reducido grado de fermentación (65 a 75%), su contenido alcohólico es alto con 7% en vol. (6 a 7,5).

Las cervezas tipo Bock tenían los siguientes valores promedio [200]:

contenido de mosto original	16,18%
contenido de extracto aparente	4,50%
contenido de extracto real	6,73%
contenido alcohólico	4,99% en masa
contenido alcohólico	6,42% en vol.
atenuación alcanzada	73,5 %

7.3.2.9 Cerveza tipo Doppelbock

Con un contenido de mosto original de 18 a 30%, la cerveza tipo Doppelbock es la más fuertemente fabricada. El contenido alcohólico de la cerveza tipo Doppelbock se encuentra en 7 a 12% en vol. y de esta manera es muy elevado. El tipo Doppelbock tiene una cantidad limitada de compradores, porque su digestibilidad es limitada ante grandes cantidades. Debe indicarse ciertamente que las cervezas fabricadas más fuertes siempre contienen más alcoholes superiores y ésteres, los cuales –consumidos en grandes cantidades–, a más tardar a la mañana siguiente, llevan a la necesidad de evitar a toda costa todo movimiento rápido de la cabeza.

La cerveza tipo Doppelbock se fabrica y vende como cerveza de temporada. Una oferta durante todo el año corre un grave riesgo de sobreenvejecimiento y con ello de deterioros en el sabor.

7.3.2.10 Cerveza sin alcohol

En la Sección 4.9.3 se detallaron los procesos para extraer el alcohol total o parcialmente de la cerveza, o para prevenir su formación. Quien quiere beber cerveza sin alcohol no desea o no debe consumir alcohol por motivos determinados. Por lo general, el consumidor asocia a esto también la expectativa de que esta cerveza tenga asimismo un valor nutricional reducido o pocos hidratos de carbono engordantes. Pero esto no está dado en todos los casos y depende del proceso. Con la mayoría de los procesos queda una cantidad relativamente grande de hidratos de carbono en la cerveza sin alcohol.

En Alemania, donde se permite un contenido alcohólico máximo de 0,5 % en vol., la cerveza sin alcohol se produce generalmente con

- un contenido de mosto original de 5 a 6%,
- un contenido de hidratos de carbono aprovechables de 2 a 5 g/100 ml (Pilsner: 2 a 4 g/100 ml),
- una energía fisiológica de 10 a 23 kcal/100 ml (Pilsner: 35 a 50 kcal/100 ml),
- un contenido de dextrinas de 2 a 2,5% (Pilsner: 0,3 a 2,0%).

Las cervezas sin alcohol tenían en el año 1996 los siguientes valores promedio [200]:

contenido de mosto original	5,22%
contenido de extracto aparente	4,48%
contenido de extracto real	4,61%
contenido alcohólico	0,31% en masa
contenido alcohólico	0,40% en vol.
grado de fermentación	14,7%
retención de espuma (R&C)	118 s
unidades de amargor	23,7 IBU
dextrinas	2,21%
hidratos de carbono aprovechables	2,26 g/100 ml
energía fisiológica	14 kcal/100 ml

¡El alcohol es un portador esencial de sabor! Durante la extracción del alcohol se le extraen a la cerveza inevitablemente también otras substancias volátiles, de manera que la cerveza sin alcohol siempre tiene un sabor que difere del de la cerveza de comparación. Es por ello que no tiene sentido una comparación directa.

Naturalmente, la cerveza sin alcohol puede ser fabricada de igual forma a partir de cerveza de fermentación alta. Las ventas de cerveza sin alcohol en Alemania eran en 1997 del 2,8%.

7.3.2.11 Cerveza dietética

La cerveza dietética se fabrica para consumidores que desean o deben (por ejemplo, diabéticos) tener una alimentación pobre en nutrientes.

En algunos países existen por ello disposiciones legales para la fabricación y la distribución de alimentos dietéticos.

Si bien durante la fabricación normal de cerveza se degrada totalmente el almidón, una parte no es degradada a azúcar y fermentada, sino degradada solamente a dextrinas (normales a la reacción al yodo), que permanecen sin fermentar en la cerveza y que contribuyen a que bebedores asiduos de cerveza engorden lentamente (abdomen).

Para fabricar cerveza dietética se debe continuar degradando también esas dextrinas a azúcar y fermentar a ésta a alcohol. Con esto, la cerveza dietética obtiene automáticamente un mayor contenido alcohólico (que en algunos países está limitado legalmente y que por ello debe ser reducido nuevamente).

Degradación completa del almidón a azúcares fermentables

Con los procesos de maceración usuales, la degradación de almidón se detiene a una atenuación límite de 80 a 85%; para la degradación de las dextrinas restantes ya no alcanza el tiempo ni el potencial enzimático aún presente (reacción de equilibrio).

Si se quiere lograr una atenuación límite de 90 a 92%, se debe macerar durante mucho tiempo (3,5 a 4 h) y de forma muy intensa [73]:

- mezclar a 50°C con reposo de 30 min,

- reposos a 62°C y 65°C de 45 min cada uno,
- reposos a 68°C y 70°C de 30 min cada uno,
- reposo a 72°C durante 15 min,
- finalización de maceración con 73 a 74°C.

Aun así no se llega de este modo al 100% necesario (atenuación límite aparente por encima de 100%) para degradar todos los hidratos de carbono. Es por ello que para la degradación sin residuos se adiciona generalmente infusión de malta (2-3%) o harina de malta (2 · 300 g/hl) al principio de la fermentación y se la mezcla bien con el mosto en fermentación: las β-amilasas y dextrinasas límite presentes degradan entonces de forma muy lenta, pero también muy consecuente las dextrinas aún presentes, de manera que los azúcares formados puedan ser fermentados. Esto da como resultado una cerveza muy rica en alcohol.

Sin embargo, se producen los siguientes problemas:

- con la harina de malta o la infusión de malta llegan por supuesto también a la cerveza microorganismos que pueden reducir su establidad y
- con la infusión de malta llegan también a la cerveza enzimas proteolíticas que degradan lentamente las proteínas de alto peso molecular, formadoras de espuma, y empeoran visiblemente la espuma.

Hay dos posibilidades para prevenir particularmente el segundo problema.

- Para ello se puede mezclar separadamente 2 a 3% de la templa de malta por encima de 60°C y adicionar en la cava de fermentación este cocimiento parcial sin cocer y enfriado. A 60°C (y por encima), las peptidasas ya está inactivadas, de manera que ya no puede ocurrir una degradación ulterior de substancias albuminoideas formadoras de espuma. Por otro lado, continúan activos residuos de la dextrinasa límite y pueden separar durante la fermentación y maduración ligaduras α-1,6 y encargarse con ello de una degradación completa del almidón.
- Se puede reducir la temperatura de la templa nuevamente a 50°C, luego del engrudamiento y licuación a 62°C, para darle todavía a la dextrinasa límite la posibilidad de una degradación completa del almidón. Con el proceso se logra una atenuacion límite aparente de 88 a 92%.
- Para fábricas de cerveza que no tienen que respetar la Ley de Pureza Reinheitsgebot, el camino menos problemático consiste en la adición de preparados enzimáticos (ver Sección 3.2.4.3.5.6) durante la maceración o en la cava de fermentación, en que está garantizada una degradación completa a maltosa y glucosa fermentables (V_s^{end} encima de 100%).

En la mayoría de los países, la cerveza dietética debe cumplir también las exigencias de una cerveza para diabéticos. Es por ello que debe prestarse atención a las disposiciones vigentes en cada país en lo que respecta a:

- los hidratos de carbono aprovechables,
- la energía fisiológica y
- el contenido alcohólico.

Si se exige una reducción del contenido alcohólico en esa cerveza, esto oscasionará costos considerables. Algunas fábricas de cerveza se ayudan a sí mismas retornando por bombeo una parte de la cerveza fermentada a la paila, de manera de desplazar el alcohol por cocción. Esto es considerablemente más barato que una desalcoholización parcial con alguno de los procesos usuales. Entre otras cosas es problemática la absorción de oxígeno.

Las cervezas dietéticas tenían en Alemania los siguientes valores promedio [200]:

contenido de mosto original	9,48%
contenido de extracto aparente	0,25%
contenido de extracto real	2,02%
contenido alcohólico	3,80% en masa
contenido alcohólico	4,80% en vol.
grado de fermentación	97,4%
dextrinas	0,66% en masa
hidratos de carbono aprovechables	0,77 g/100 ml

energía fisiológica	33 kcal/100 ml
	= 139 kJ/100 ml

7.3.2.12 Cerveza ligera (light)

Las cervezas ligeras son fabricadas como cervezas claras u oscuras, tanto de fermentación baja como de fermentación alta, como cerveza servida en la barra o como cerveza normal. Debido a ello no es posible una descripción uniforme. Con su reducida carga debida a alcohol y otras substancias engordantes, como las dextrinas, las cervezas ligeras son utilizadas sobre todo como bebida de acompañamiento.

Las cervezas light son fabricadas frecuentemente reducidas en calorías y a veces se las hace aun más digestibles por medio de una extracción parcial del alcohol. En Alemania, las cervezas ligeras tienen una porción de 0,9% (año 1997) con tendencia decreciente.

Las cervezas ligeras tienen en Alemania en promedio

- un contenido de mosto original de 6,5 a 8,0%,
- un contenido alcohólico de 2,5 a 4,0% en vol. ,
- un contenido de dextrinas de aproximadamente 1,0%,
- un contenido de hidratos de carbono aprovechables de 2,0 g/100 ml ,
- una energía fisiológica de 25 a 30 kcal/100 ml.

Fabricación de cerveza ligera

Tambien se puede producir cerveza ligera por dilución a partir de una cerveza normal. ¡Pero así tambien será el sabor!

Para una buena cerveza ligera es necesaria una nota propia de sabor para exteriorizar mejor el carácter de la cerveza. Esto incluye [75]:

- la utilización de maltas más oscuras y tostadas a mayor temperatura (105 - 110°C),
- la utilización de procesos especiales de maceración para mantener la atenuación límite especialmente baja o alta,
- una lupulación más fuerte y una cocción intensiva,
- una fermentación más caliente con degradación intensiva de diacetilo,
- prestar atención a las manifestaciones de deficiencias en la fermentación de cervezas ligeras (deficiencia de aminoácidos, deficiencia de cinc),
- la regulación de una diferencia entre la atenuación alcanzada y la atenuación límite.

En contraste con Alemania, donde las cervezas ligeras no se han impuesto, la cervezas light han conquistado, sobre todo en el mercado de cerveza norteamericano, una considerable porción del mismo.

7.3.2.13 Bebida de malta (Cerveza de malta)

Luego de una "guerra de cerveza dulce" librada en 1960, está prohibido en Baviera desde ese entonces producir cerveza de malta con adición de azúcar. Como resultado de varios procesos legales, la Corte Federal de Justicia ha decidido que la cerveza de malta debe llamarse en el futuro, en Alemania, "bebida de malta".

Por bebida de malta (cerveza de malta) se entiende una bebida ámbar-oscura, con un contenido de mosto original de 11,7 a 12%. La cerveza es fabricada con 7 a 8% de extracto y recién luego de la filtración se le adiciona tanto azúcar que resulta el contenido de mosto original de 11,5 a 12%. El contenido alcohólico de la cerveza se encuentra, al igual que en las cervezas sin alcohol, por debajo de 0,5%. De este modo, las bebidas de malta han ganado su fama como bebidas calmantes de la sed con una cantidad concentrada de nutrientes.

Fabricación:

Se maceran y filtran de modo usual 65 a 75% de malta tipo Munich, 3 a 5% de malta caramelo oscura y el resto de malta tipo Pilsner, y se cuecen durante 60 a 70 min con poco lúpulo (15 a 20 mg de α-ácido/l de

mosto). El inicio de fermentación ocurre a 10°C con levadura de fermentación alta y es interrumpido al cabo de pocas horas por medio de un enfriamiento a 0 a 1°C para mantener el contenido alcohólico por debajo de 0,5%. Por supuesto, la levadura de fermentación alta no desarrolla en ese breve tiempo productos de metabolismo. Pero se debe adicionar levadura de fermentación alta para satisfacer las disposiciones legales, dado que esta cerveza está definida como cerveza de fermentación alta.

Luego de un reposo a temperaturas de 0 a 1°C se adiciona el 4 al 5% (4 a 5 kg/100kg de mosto) de azúcar aún faltante en forma de azúcar cervecera caramelizada (al 80%), jarabe o azúcar invertida, y se mezcla todo. A veces, el mezclado es problemático, debido a que el azúcar no siempre se disuelve completamente y un mezclado de dos líquidos de diferente densidad sin agitador y en grandes recipientes es incompleto.

Posteriormente, la bebida es carbonatada, envasada en botellas y pasteurizada. Un tratamiento en el pasteurizador flash es demasiado inseguro, dado que en el recorrido del envasado todavía pueden llegar a la cerveza microbios, en particular, células de levadura, que pueden fermentarla debido al abundante contenido de azúcar. Debido a la presión que se desarrolla, la botellas pueden reventar y causar grandes daños personales y materiales con los trozos de vidrio.

Con una energía fisiológica de 44 a 46 kcal/100 ml (185 a 193 kJ/100 ml), la cerveza de malta sólo tiene un poco más de calorías que, por ejemlo, la tipo Pilsner con aproximadamente 40 kcal/100 ml. Sin embargo, tiene muchos hidratos de carbono aprovechables (promedio 10,5%).

La cerveza de malta es una bebida energizante ideal, que puede ser recomendada en todo momento a niños y deportistas como proveedor de energía, debido a la falta de alcohol, así como debido al contenido de hidratos de carbono, proteínas y vitaminas fácilmente digestibles.

Según la Ley de Pureza Reinheitsgebot está prohibida la adición de azúcar para el endulzamiento leve de cervezas oscuras o negras de fermentación baja, con contenidos alcohólicos de hasta 5%. Sin embargo, esto es usual en otros países. Estas cervezas obtienen de esta manera una nota levemente abocada, que les asegura un buena venta, en particular entre las damas.

Del mismo modo es posible fabricar una cerveza endulzada, de fermentación baja, de malta caramelo (cerveza de doble malta caramelo), siempre que no se deba respetar la Ley de Pureza Reinheitsgebot. Sin embargo, cualquier adición de azúcar (preferentemente azúcar cervecera caramelizada) conlleva siempre la necesidad de pasteurizar la cerveza en la botella o en la lata. A los efectos de mejorar la formación de espuma, se puede realizar para ello un reposo a 30 a 35°C, antes o al inicio de la pasteurización, para estimular la fermentación. Es favorable para ello una adición previa de una pequeña cantidad de levadura a la cerveza no filtrada. Una pasteurización profunda es necesaria, dado que de lo contrario la fermentación en inicio revienta cualquier botella o lata (ver más arriba).

7.3.2.14 Tipos de cerveza con muy pequeñas porciones

Cervezas tipo Drybier

Por cervezas tipo Drybier se entienden cervezas con contenido usual de mosto original de 11,3 a 11,8%, que están muy altamente fermentadas y fuertemente lupuladas. De esta manera se obtiene un sabor amargo y seco, que es deseado y por el cual la cerveza obtiene su nombre.

Kellerbiere (Cerveza sin filtrar)

En tiempos recientes se han estado ofreciendo cervezas normales en estado natural, es decir, sin filtrar, como Kellerbier. Estas cerve-

zas levemente turbias tienen un contenido promedio de extracto original de 11,5 - 12,5% y un grado de fermentación de 77,1%. Con un contenido alcohólico de 4,4 a 5,2% se las produce como tipos claros u oscuros, y se las vende sin filtrar –turbias de bodega– generalmente en barril. Sin embargo, el enturbiamiento –tal como también en el tipo Hefeweizen– no necesariamente tiene que deberse a la levadura. Un enturbiamiento debido a proteínas tiene el mismo efecto y no sedimenta.

Las Kellerbier no son un tipo de cerveza uniformemente definido.

Rauchbiere (Cervezas ahumadas)

Por cervezas ahumadas se entienden cervezas que son fabricadas con malta secada al humo. La malta secada al humo es producida industrialmente por medio del pasaje de humo frío a través de malta verde y de esta manera se impide la formación de nitrosaminas. En fábricas de cerveza más pequeñas se la produce todavía pasando los gases de calentamiento a través de la malta durante la fabricación de ésta. Se quema para ello madera de haya, lo cual otorga a la cerveza un sabor ahumado-áspero y muy propio, por el cual se ha hecho conocida la cerveza ahumada (Rauchbier). Las cervezas ahumadas (Rauchbiere) sólo son fabricadas por algunas pocas pequeñas fábricas de cerveza en Bamberg y es necesario acostumbrarse a su sabor.

Steinbiere (Cervezas de piedra)

Por Steinbier se entiende una cerveza, cuya templa o bien cuyo mosto son calentados por inmersión de piedras candentes. Por medio del contacto con las piedras calientes se producen procesos de caramelización que aromatizan el sabor del mosto y con ello el de la cerveza.

Pero el proceso es utilizado muy raramente y sólo por fábricas de cerveza muy pequeñas.

7.3.2.15 Cócteles de cerveza

Los cócteles de cerveza son bebidas establecidas ya desde hace mucho tiempo en Alemania, que eran preparadas por el barman, a pedido del cliente, como mezcla de cerveza y refresco y que tenían un efecto calmante de la sed a través del propio sabor y del reducido contenido alcohólico.

Los cócteles de cerveza son fabricados y envasados hoy en día, generalmente en latas, como bebida final en una proporción de mezcla de aproximadamente 1 : 1 de cerveza, fabricada según la Ley de Pureza Reinheitsgebot, y refresco o cola u otras bebidas con un contenido alcohólico de 1 a 2,7%.

Son cócteles de cerveza tradicionales, por ejemplo,

Radler	mezcla de cerveza clara y limonada,
Alsterwasser	mezcla de cerveza clara y limonada,
Mixery	mezcla de cerveza clara y cola,
Russn	mezcla de cerveza tipo Kristallweizen y limonada,
Diesel	mezcla de cerveza de trigo y cola,
Turbodiesel	mezcla de cerveza de trigo, cola y aditivos.

Los cócteles de cerveza son particularmente cervezas de estación para la temporada cálida. Por experiencia, el requerimiento de bebidas calmantes de la sed con un bajo contenido alcohólico aumenta entonces bruscamente, de manera que estas bebidas son muy demandadas en esa época del año.

También en otros países la demanda de cócteles de cerveza se ha incrementado fuertemente en los últimos años; se nota en esto una tendencia general hacia bebidas de buen paladar y pobres en alcohol (1 a 3%).

7.3.3 Tendencias en el desarrollo de tipos de cerveza que no cumplen con la Ley de Pureza Reinheitsgebot

La fabricación de la cerveza según la Ley de Pureza Reinheitsgebot es la forma tradicio-

7

nal de fabricar cerveza e impone las más altas exigencias al cervecero. Dentro del marco de la Ley de Pureza Reinheitsgebot existen también numerosas posibilidades para la modificación de los matices de sabor, por ejemplo, por utilización de distintas cepas de levadura, las cuales influyen sobre la formación del sabor y del aroma a través de sus productos de metabolismo.

Hemos visto que en muchos países se substituye, por motivos puramente económicos, una parte de la malta de cebada por otros productos naturales, más económicos. Se puede decir que hoy en día el 85 a 90% de la cerveza en todo el mundo no es fabricado según la Ley de Pureza Reinheitsgebot. Existen para ello posibilidades de substituir una parte de la malta de cebada por aquellas materias primas naturales que influyen particularmente sobre la formación de aroma en la cerveza.

Es por ello que, junto con la fabricación de los tipos tradicionales de cerveza, los cuales también continúan dominando decisivamente el mercado, existen muchas tendencias en el desarrollo de nuevos tipos de cerveza. Este desarrollo es estimulado especialmente también por la puesta en servicio de numerosas cervecerías de restaurante y microcervecerías en mucho países de la Tierra.

En los países y fábricas de cerveza que no consideran necesario adherir a la Ley de Pureza Reinheitsgebot se adicionan a la cerveza cada vez más aditivos aromatizantes de frutas o partes de plantas naturales para obtener de esta manera componentes de sabor y de aroma interesantes, que agradan a un círculo de consumidores interesados. Estas cervezas frecuentemente son importantes para el consumidor, no tanto por la sed, sino por el placer, del cual ya no desea desistir. Debido a la abundancia de frutas, especias y plantas, existe para tales innovaciones una infinidad de posibilidades, cuyo aprovechamiento depende de la iniciativa y el gusto de cada uno.

Así, una serie de fábricas de cerveza, en general microcervecerías y cervecerías de pubs muy ávidas de realizar experimentos, adicionan los siguientes productos naturales –solos o combinados–: cáscaras de mandarina, cáscaras de naranja, azahares, flores de saúco, salvia, manzanilla, cilantro, jengibre, canela, claveles, zarzamoras, fresas, cerezas, calabaza, nueces, flores silvestres, trigo sarraceno, etc.

Una tendencia de moda particular son las cervezas con aditivo de cáñamo. En esto se substituye una parte del lúpulo, que de por sí está emparentado con el cáñamo, por flores de cáñamo. En todas las cervezas producidas con adición de frutas o partes de plantas, se reduce en general el uso del lúpulo para permitir que tenga efecto el sabor típico a frutas o a combinaciones. En el caso de los aditivos no debe olvidarse de enfatizar en la publicidad y en la etiqueta los correspondientes efectos de la planta sobre la salud. Así, el corazoncillo ayuda en el caso de insomnio y nerviosismo, etc. En todos los casos es importante la mezcla especial que conduce a un sabor único.

Respecto de la adición de azúcar como agente edulcorante en la cerveza terminada se ha discutido en la Sección 1.5.7.

Cerveza con miel como especialidad

Una especialidad está representada por el coprocesamiento de miel, que gana progresivamente en importancia en algunos países.

La miel es producida por las abejas, que absorben de partes de plantas vivientes el néctar u otros jugos dulces, a los cuales enriquecen por medio de substancias endógnenas, los modifican en su cuerpo, los almacenan en panales y los dejan madurar allí. El néctar se espesa en esto y se invierte debido a las enzimas y al ácido absorbidos de la abeja. Los minerales, las vitaminas y las substancias aromáticas provenientes del alimento de la abeja son concentrados aquí

hasta un contenido de agua de 16 a 19% de la masa de la miel, y se los centrifuga en la cosecha como miel centrifugada de panales sin larvas y a temperatura de colmena.

Esta miel contiene en promedio:

38,2% fructosa
31,3% glucosa,
7,3% maltosa,
1,3% sacarosa,
1,5% azúcares superiores
0,04% nitrógeno,
0,17% minerales, etc.

De acuerdo con esto, el contenido proteico de la miel es extremadamente reducido, al igual que el contenido de minerales, donde la miel oscura tiende en esto a un mayor contenido de minerales. El valor pH de la miel se encuentra en 3,9. Con un 0,57%, la miel es rica en ácidos orgánicos, principalmente en ácido glucónico.

La importancia de la miel radica sobre todo en su alto contenido de hidratos de carbono fácilmente reabsorbibles y en su contenido de substancias aromáticas, las cuales otorgaban a la miel una importancia particular ya desde tiempos muy antiguos. Se recuerda al respecto el vino de miel, el "Met" de nuestros antepasados.

El aroma es formado por más de 300 compuestos volátiles, de los cuales están identificados más de 200. Se trata de ésteres de ácidos alifáticos y aromáticos, aldehídos, cetonas y alcoholes.

Según la región principal de recolección, el origen de la planta (flujo de néctar), se distingue entre

- miel de flores y
- miel de mielato.

En estado fresco, la miel de flores (por ejemplo, miel de erica, de acacia, de tréboles, de colza, de alfalfa, de trigo sarraceno, de flores de frutas) es espesa y traslúcida y, con el tiempo, se solidifica y cristaliza cada vez más. El color de la miel depende –como el aroma– de la región de recolección. Así:

- la miel de arce tiene una coloración amarilla clara,
- la miel de erica tiene una coloración rojiza oscura,
- la miel de tréboles tiene una coloración amarilla clara a rojiza,
- la miel de pradera tiene una coloración amarilla a marrón.

El sabor y el aroma son dulces y aromáticos, en parte altamente aromáticos. Algunas variedades, tales como algunas mieles de erica o de trigo sarraceno, tienen a veces un aroma algo más severo que otras variedades.

La miel de mielato (miel de pino, de abeto, de hojas) solidifica solamente con dificultad. También es menos dulce, de coloración oscura, y posee un sabor y un olor a especias y resinosos.

Elección de la miel

La elección de la miel para la fabricación de cerveza tiene una importancia decisiva, dado que la miel contribuye de forma considerable al aroma, también en pequeñas cantidades. Por este motivo se debe elegir muy cuidadosamente entre las variedades de miel ofrecidas. La miel que se caracteriza por un aroma fuertemente aromático o severo no se tiene en cuenta generalmente para la fabricación de cerveza. La miel debe aportar a la cerveza un dulzor residual con un sabor agradable y suave, pero no el sabor penetrante de la miel. Es por ello que debería prestarse mucha atención a la elección de la miel.

Momento y cantidad de la adición de miel

Debido a su elevado contenido de azúcares fermentables y al elevado contenido de substancias aromáticas, la miel es ideal como aditivo para la fabricación de cerveza. En esto se pueden elegir todas las variantes posibles entre dos posibilidades:

1ª posibilidad: la miel es adicionada en la sala de cocción, como proveedora de extracto, poco antes del bombeo del mosto calien-

te y se la continúa procesando de forma normal. Si bien en este caso se exterminan los microorganismos que se encuentran en la miel, se pierden, sin embargo, algunos de los valiosos compuestos de sabor volátiles que forman el sabor. La cerveza no tiene entonces dulzor residual si se fermenta hasta el final. La adición de miel puede ocurrir directamente antes del bombeo del mosto caliente, dado que los microorganismos son exterminados a 100°C en muy breve tiempo y las altas temperaturas en el Whirlpool también garantizan todavía esterilidad.

¡La miel es fermentable casi en un 100% y también es fermentada! Pero, como proveedora de extracto, la miel es relativamente muy cara y, fermentada, tiene escasas ventajas, sobre todo porque las substancias aromáticas se pierden casi totalmente.

2ª *posibilidad:* la miel es adicionada recién antes del envasado. Entonces el dulzor y el aroma lleno llegan a distinguirse. Se requiere para ello:

- un dispositivo dosificador que funcione bien (o se mezcla por trasiego),
- un dispositivo para la poscarbonatación y
- un equipo de pasteurización para la conservación y la prevención de fermentaciones indeseadas.

Esto es naturalmente un proceso costoso, sobre todo porque la miel tampoco es barata. Sin embargo, este es el mejor método.

Pero debe cuidarse de que la bebida no se ponga notablemente dulce. El balance de dulzor residual, el aroma leve a miel y el amargor leve de lúpulo son los que hacen que la bebida sea interesante.

Por lo general se adiciona 1 a 3% de miel (diluida) antes de la fitración y se pasteurizan las botellas. La miel otorga a la cerveza un dulzor residual tal que convierte a esta última, en concierto con un débil aroma a miel, en una "bebida de damas" bien abocada. Esta cerveza, que debería estar lupulada más débilmente, es recomendable fabricarla algo más fuerte (13 a 14%), a los efectos de incrementar el carácter a vino de la cerveza de miel, a través del mayor contenido de alcohol y de ésteres.

Los mayores costos debidos a la miel pueden ser compensados a través del mayor precio de la cerveza de miel, lo cual además atrae círculos de consumidores totalmente diferentes y nuevos. Muy frecuentemente ya alcanza con mencionar el uso de miel para hacer que el consumidor tome interesadamente el producto. En general asume que el producto tendrá entonces un sabor similar.

En todos los casos debe declararse en la etiqueta la adición de miel u otro producto natural. Esto es especialmente necesario, porque el consumidor de la cerveza espera que ésta sea un producto puro y natural, aunque no haya sido fabricada según la Ley de Pureza Reinheitsgebot.

En Alemania, por supuesto, no está permitido vender la bebida bajo la denominación "cerveza".

Otras variantes

Otra variante interesante es la cerveza de rábano rusticano producida por una fábrica de cerveza en Japón. Si se fabrica con rábano rusticano verde, se obtiene una cerveza verde con un sabor condimentado y aromático. El color completamente diferente de la bebida y el sabor diferente la convierten en interesante. En contraste con la miel, el rábano rusticano no aporta extracto fermentable alguno y sólo debe ser considerado como condimento, aunque muy fuerte.

Este ejemplo algo extraño muestra que la paleta de posibilidades no está para nada agotada y que aún existen muchas posibilidades de enriquecimiento de la cerveza. Pero, al experimentar, no debería olvidarse nunca de anotar de forma precisa todos los aditivos (cantidad, origen, temperatura durante el procesamiento, momento de la adición, etc.). Sería muy desagradable, si

una mezcla óptima no es reproducible, comprobar que es porque la mezcla se realizó "de alguna manera".

Sin embargo, debe tenerse en claro que estas bebidas –sean o no llamadas cerveza en el país en cuestión– siempre ocupan sólo una pequeña porción del mercado y que no pueden desplazar a las grandes marcas y tipos de cerveza.

7.4 Verificación de la calidad

La verificación cualitativa de la cerveza terminada se realiza bajo tres aspectos diferentes:

- por degustación de la cerveza,
- a través de un control microbiológico y
- a través de un examen químico-técnico.

7.4.1 Degustación de la cerveza

Muchos contenidos de la cerveza y también sus propiedades pueden ser medidos de forma concreta, por ejemplo:

- la cantidad y la retención de la espuma,
- el color de la cerveza o
- el grado de turbidez de la cerveza.

Pero la pureza del sabor, el olor de la cerveza, su rescencia o la delicadeza de su amargor son factores que no pueden ser registrados analíticamente. Sin embargo, justo éstos son los factores que interesan en primer lugar al consumidor. A éste, la cerveza tiene que gustarle tanto que ya sólo quiera ésa.

Para registrar estos criterios determinantes para la calidad, la cerveza debe ser degustada examinando su olor y sabor de acuerdo con diferentes aspectos. Si en esto se quiere arribar a conclusiones concretas, se debe realizar la degustación según un orden establecido, y las personas degustadoras deben ser elegidas y formadas previamente.

Para la degustación se requieren personas con una muy fina capacidad de diferenciación en sabor y olor. Para verificar esto, a las personas degustadoras se les sirven cervezas, en las cuales

- se substituyó un 10% de la cerveza por agua desgasificada (comparación de dilución),
- se adicionaron 4 g de azúcar/l (comparación de dulzor) o
- se disolvieron 4 mg de iso-α-ácido (comparación del amargor).

Las botellas de ensayo son taponadas como es debido, se las gira 180° y se las guarda en la heladera durante toda la noche, junto con la cerveza de comparación. Luego se las degusta

- en el ensayo dúo, en que se examinan las diferencias, y se las fundamenta en ambas muestras,
- en el ensayo trío, en que el degustador recibe una de las muestras de cerveza (A o B) doblemente (AAB, BBA, ABA, ABB, etc.). El degustador debe encontrar la muestra discrepante y fundamentar esto.

La selección de personas degustadoras descripta es realizada entre el personal de planta seleccionado para ello. Con el tiempo, estas personas pueden distinguir de forma cada vez más precisa debido a su experiencia. Pero, por otro lado, hay mucho interés en saber cómo es recibido cada producto por el consumidor. Para ello se hacen ensayos de preferencias con clientes. Dado que se trata aquí de público en general y de personal no entrenado, se utilizan para esto métodos de ensayo lo más sencillos posible.

Para ello se les sirven a los degustadores muestras codificadas de cerveza propias y de la competencia. El degustador recibe una hoja de papel que tiene dos líneas horizontales, distanciadas 10 cm entre sí. La línea superior significa el mejor resultado imaginable y la línea inferior, el peor resultado imaginable. El degustador indica, mediante una marca colocada más o menos arriba, su opinión respecto de la cerveza degustada. ¡También aquí es interesante hacer degustar nuevamente al final la cerveza que fue degustada en primer lugar!

Para la realización de la degustación existen indicaciones concretas. Así, se vierte la cerveza sin espuma en vasos de ensayo de 200 ml de color oscuro y se degusta a una temperatura entre 8 y 14°C. Esta temperatura debe ser alcanzada por la cerveza ya durante la noche previa. La sala de degustación, su temperatura, la ubicación de los degustadores etc., están exactamente establecidas a los efectos de alcanzar resultados completamente neutrales.

Las muestras son degustadas siempre tapadas.

Existen diferentes esquemas para muestras de degustación. En reemplazo de otros esquemas se indica aquí el esquema de degustación según el cual se realiza la verificación de calidad de la DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Sociedad Alemana de Agricultura) para cerveza:

Características de degustación	Puntos alcanzables	Descripción
olor	5	puro
	4	aún puro
	3	leves deterioros de olor (a diacetilo, oxidado)
	2	notables deterioros de olor (penetrantemente a ésteres)
	1	fuertes deterioros de olor (insulso, a levadura)
pureza del sabor	5	puro
	4	aún puro
	3	leves deterioros de sabor (a diacetilo, oxidado)
	2	notables deterioros de sabor (penetrantemente a ésteres)
	1	fuertes deterioros de sabor (insulso, metálico, asoleado)
cuerpo	5	agradable al paladar, redondeado
	4	agradable al paladar
	3	poco agradable al paladar
	2	no redondeado
	1	vacío, desagradable al paladar
rescencia	5	agradablemente burbujeante
	4	burbujeante
	3	poco burbujeante
	2	insípida
	1	muy insípida
calidad del amargor	5	muy fina
	4	fina
	3	algo remanente
	2	remanente
	1	fuertemente remanente

Dado que las degustaciones siempre son efectuadas por varios degustadores, se puede sacar las conclusiones necesarias de los resultados promedio de las características de ensayo. En estas degustaciones se deberían incluir también muestras más antiguas a fin de comprobar objetivamente a partir de cuándo se puede establecer un deterioro de sabor. La degustación es un criterio muy importante para la evaluación de una cerveza.

Pero se debe señalar algo más: la cerveza es una bebida de costumbre y su sabor se registra en la memoria. La cerveza que un consumidor bebe siempre es la que más le gusta, también –y tal vez por ello– porque tiene un sabor muy distintivo. Se dice que la cerveza necesita una patria. De eso sacan

provecho muchos cientos de pequeñas fábricas de cerveza, que existen todavía -sobre todo en la parte norte de Baviera- y venden su cerveza exitosamente en la vecindad.

7.4.2 Control microbiológico

Es posible que entren microorganismos extraños a la cerveza -contaminantes- en el recorrido del mosto y de la cerveza hasta el producto terminado. Si estos contaminantes se propagan, forman un sedimento leve en la cerveza, hasta que finalmente la enturbian y, a través de la formación de sus productos de metabolismo de tipo diferente, la modifican, empeoran o hasta hacen imbebible en lo que respecta a su sabor.

Es por ello que debe hacerse todo lo necesario para detectar tan tempranamente como sea posible tales microorganismos extraños, descubrir los lugares en que ingresan al mosto o la cerveza, y tomar medidas para que no puedan propagarse. Ésta es la tarea del control biológico de planta.

No todos los microorganismos que llegan de alguna manera al mosto o a la cerveza son microorganismos que deterioran a esta última. Básicamente se distingue entre tres grupos, según el efecto perjudicial:

- la flora acompañante inofensiva (microorganismos que deterioran la cerveza de forma indirecta),
- los microorganismos deteriorantes potenciales y
- los microorganismos que deterioran la cerveza inevitablemente.

La flora acompañante inofensiva está compuesta por esporas de moho y muchas cepas de bacterias y levaduras. No pueden propagarse en la cerveza y mueren. Pero su presencia indica a veces que hay microorganismos más peligrosos (gérmenes indicadores) presentes.

Los microorganismos deteriorantes potenciales sólo pueden propagarse en la cerveza si existen condiciones favorables para ellos, por ejemplo:

- si el contenido de oxígeno en la cerveza es más alto o
- si el valor pH en la cerveza es relativamente alto (4,7 a 4,8), o
- si el contenido de compuestos amargos de lúpulo es bajo.

Entre las bacterias potencialmente deteriorantes de la cerveza se cuentan, por ejemplo:

- *lactobacillus casei,*
- *streptococcus lactis,*
- *enterobacteriaceae.*

Una parte de estas bacterias, por ejemplo el streptococcus lactis, produce ácido láctico, pero también un dejo desagradable.

Los microorganismos que deterioran la cerveza inevitablemente tienen una influencia particularmente deteriorante. A estos pertenecen, sobre sobre todo:

- *pectinatus cerevisiiphilus* y
- *megasphaera cerevisiae.*

Estas cepas de bacterias son anaerobias; es decir, que sólo se pueden propagar bajo extrema exclusión de aire. Dado que hacemos todo para mantener alejado el oxígeno de la cerveza, se mejoraron simultáneamente las condiciones de vida para estos microorganismos deteriorantes de la cerveza (exclusión de aire, valor pH bajo).

Esto significa que estas bacterias se pueden propagar en la cerveza envasada y libre de oxígeno. Sus productos de metabolismo formados desarrollan un olor y un sabor desagradables a estiércol líquido y pueden hacer que la cerveza sea imbebible. Es por ello que es extremadamente importante combatir estas bacterias a tiempo. Sabemos (ver Sección 5.2.2.5) que estas bacterias hostiles al oxígeno se encuentran y se enriquecen en las envolturas de mucílago de las bacterias de ácido acético omnipresentes a los efectos de poder entrar en acción en el momento dado.

Pero, además, también otros microorganismos que deterioran la cerveza inevitable-

mente tienen un efecto deteriorante a través de la formación de productos secundarios desagradables. Estos son en particular:

- *lactobacillus brevis,*
- *lactobacillus Lindneri,*
- *lactobacillus frigidus* y
- *pediococcus damnosus.*

Estos microorganismos son anaerobios, pero también pueden vivir facultativamente de forma aerotolerante.

7

También las levaduras pueden causar daños en la cerveza al dar lugar a problemas de fermentación o posfermentaciones. La *pediococcus damnosus* es un tipo temido de bacteria (sarcinas), que excreta diacetilo como producto secundario de metabolismo y de esta manera puede otorgar un dejo desagradable a la cerveza, que hasta puede causar que ésta sea imbebible.

Las levaduras deteriorantes para la cerveza son:

- células de levadura que aún se encuentran en la cerveza después de la filtración,
- levaduras *saccharomyces* extrañas; éstas son parientes de nuestra levadura de cultivo, las cuales sin embargo no deberían estar aquí y pueden causar sedimento, turbidez y defectos de sabor.

  A éstas pertenecen:
  - *saccharomyces diastaticus,*
  - *saccharomyces pastorianus* y
  - *saccharomyces ellipsoideus.*
- También hay en la cerveza levaduras extrañas que no son del tipo *saccharomyces*. Están incluidas aquí:
  - *brettanomyces,*
  - *torulopsis,*
  - *hansenula* y
  - *candida.*

En todos los casos, las levaduras extrañas causan sedimento y turbidez en la cerveza si se propagan; además, causan una deficiencia de nutrientes para la levadura de cultivo, debido a su propagación y su metabolismo.

La tarea del control biológico de planta consiste en controlar en lo posible en muchos lugares, y tan frecuentemente como sea posible, a los efectos de comprobar dónde y como ingresan microorganismos (MO) al mosto o a la cerveza. Tales organismos extraños se llaman, sucintamente, organismos de contaminación o, en forma abreviada, contaminantes (del latín contamino = mezclar – y así deteriorar). Es decisivo que se registre la presencia de tales contaminantes tan tempranamente como sea posible a los efectos de poder tomar contramedidas.

Las tomas de muestra se realizan de acuerdo con un plan establecido para la planta; se toman muestras de mosto y de cerveza en diferentes lugares y se las controla.

Los controles se realizan según un plan de control en etapas, separados según

- el área de producción: contaminaciones primarias y
- el área de envasado: contaminaciones secundarias.

Los exámenes se realizan respecto de:

I microorganismos que deterioran la cerveza inevitablemente

II microorganismos deteriorantes potenciales

III microorganismos que deterioran la cerveza de forma indirecta

IV gérmenes indicadores:

El control en etapas debería abarcar las siguientes estaciones:

- mosto (I - IV) 50 ml de mosto + 8 ml de NBB-C + 120 ml de cerveza pasteurizada,
- levadura cosechada, levadura de inicio de fermentación, cultivo puro de levadura (I - IV) NBB-B, agitador,
- cerveza verde antes de fermentación vigorosa (I - III) NBB-C + 20% de agua, agitador,
- muestra de tanque de reposo (I, II) luego de trasiego; NBB-C + 10% de agua, agitador,
- muestra diaria (I, II) continuadamente antes de filtro de placas; método por enri-

crecimiento en un medio líquido,

- muestra diaria (I, II) continuadamente luego de filtro de placas; filtración por membrana,
- válvulas agrupadas (I,II) antes y después, método por enriquecimiento en un medio líquido,
- muestra diaria (I,II) entrada de llenadora continuadamente, método por enriquecimiento en un medio líquido,
- muestras de agua de enjuague de todo el recorrido de la cerveza; 50 ml de muestra de agua + 5 - 20% de NBB-B + cerveza.

El plan de etapas es, sin embargo, sólo el primer paso para un plan de control combinado para la detección segura de las contaminaciones por trazas, en que debería incluirse también el método de detección rápida [285]. La figura 7.1b muestra los puntos y métodos de control:

El recorrido del mosto está fijado en el plan de control en etapas; el agua y el aire deberían ser controlados de vez en cuando. Los controles en etapas (1) son realizados tal como se los describe más arriba. Aparte de ello debería controlarse con muestras especiales (2) y en forma desfasada si existen puntos débiles, y se debería prestar especial atención a la detección de gérmenes indicadores. Son necesarios métodos de detección rápida, en especial el análisis PCR (3), particularmente en la bodega de levadura y filtro, así como previo al envasado.

Los sistemas usuales para la detección de contaminaciones bacteriológicas tienen la desventaja de que no son tan rápidos como sería deseable. En parte, la evaluación recién puede ser realizada después de cinco días, lo cual ya puede ser demasiado tarde bajo determinadas circunstancias.

En el análisis PCR (Polymerase Chain Reaction) se descubren partes del genotipo (huellas digitales genéticas) de los organismos a detectar –y no la célula en su totalidad. Dado que en la cerveza sólo se presenta un espectro limitado de gérmenes dañinos, se puede efectuar con este método, en un solo paso y en el término de pocas horas, la comprobación y la diferenciación de microorganismos deteriorantes para la cerveza [212]. Usando un método más reciente [276] también es posible diferenciar, por medio del PCR, entre células vivas y células muertas en las muestras de cerveza y reconocer con ello resultados erróneos.

Subsecuentemente, con el método es posible detectar en el término de pocas horas diferentes especies de *lactobacillus* que deterioran la cerveza, así como *pediococcus*, *megasphaera* y *pectinatus*, y simultáneamente también determinarlas. Con ello, la fábrica de cerveza tiene la posiblidad de estimar considerablemente más rápido el potencial de riesgo y de buscar las causas de las contaminaciones.

Luego de la filtración, o previo al envasado, debería acoplarse el método de detección rápida con una toma continuada de muestras (filtración por membrana en derivación) a los efectos de registrar en lo posible todos los gérmenes extraños (4). En la filtración por membrana en derivación (sistema BM) [286] se extrae continuadamente cerveza a través de una tubería de derivación (bypass), se la filtra a través de un filtro de membrana y se retorna el líquido filtrado a la corriente principal. Sobre el filtro se concentran los contaminantes retenidos. El filtro es extraído luego de finalizada la filtración y se lo somete a incubación en un medio especial. Los gérmenes pueden entonces ser detectados a través de su formación típica de colonias o bien a través del microscopio por medio del ojo entrenado.

En particular, en la sala de embotellamiento se deben tomar frotis (5) en lugares expuestos (llenadora, inmediaciones de llenadora, cintas, etc.) y repetirlos a intervalos. Preferentemente, los frotis deben ser incubados aerobiamente con NBB-B-AM durante tres días a 25 - 28°C (¡Coloración amarilla = Biofilm!).

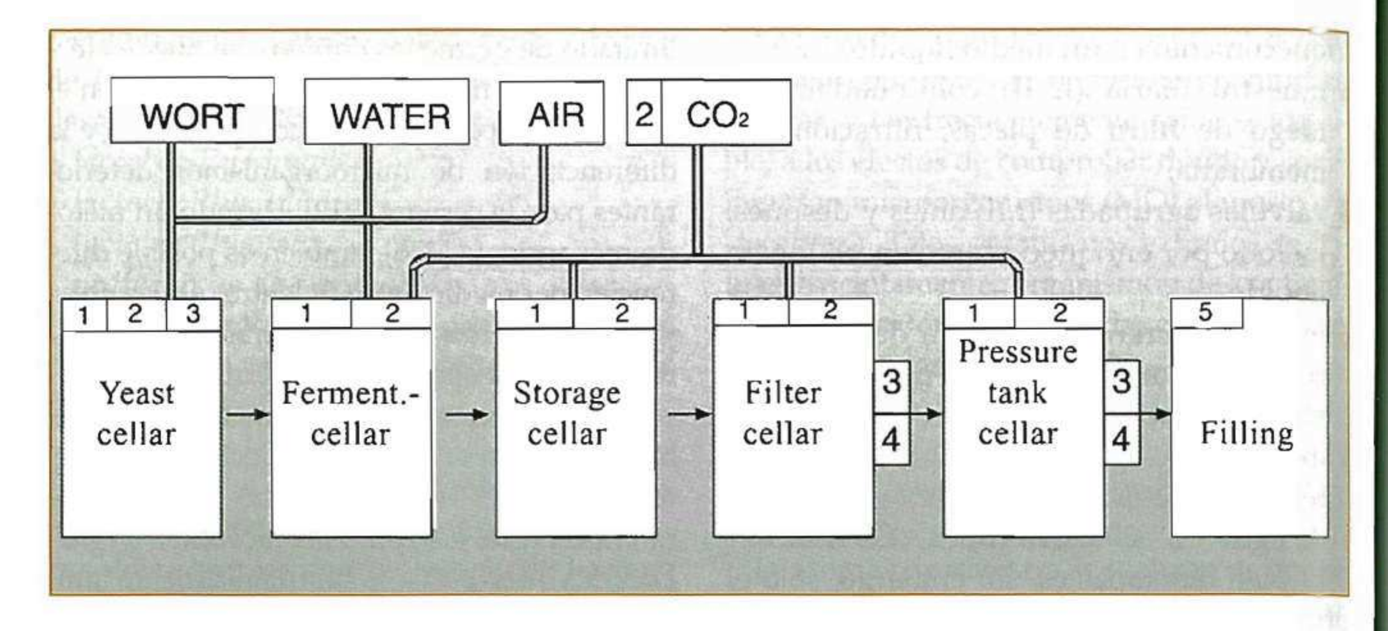


Figura 7.1b
Plan de control combinado para la detección segura de contaminaciones por trazas
(1) control en etapas (2) muestras especiales en puntos débiles, (3) comprobación rápida por análisis PCR, (4) sistema de filtración por membrana en derivación, (5) frotis en bodega de levadura, cava de fermentación, bodega de reposo, bodega de filtros, bodega de tanques de presión, envasado

La levadura de cosecha y la de inicio de fermentación, el agua, el aire, todos son focos posibles de contaminación que se deben controlar. Cuanto más intensivamente se controla, tanto más probablemente se tiene la posibilidad de encontrar una fuente de contaminación. Tampoco es correcto confiar en la filtración fina y en la pasteurización flash: ¡En todo momento se debe trabajar de forma meticulosamente limpia!

Las muestras son tomadas bajo condiciones biológicamente impecables. Es decir que, a través de la toma de muestras, se debe garantizar que sólo haya material de muestra del lugar de extraccíon de la misma y nada más. Este material de muestra es agregado bajo condiciones estériles en soluciones especiales de nutrientes, o en medios de cultivo, e incubado a temperaturas constantes.

Para los diferentes materiales se usan diferentes tipos de muestras [94]. De este modo se desea acelerar el crecimiento de los contaminantes para poder detectarlos mejor. A estos pertenecen:

Tipo de muestra I para muestras claras de cerveza y agua de enjuague.

Método de filtración por membrana, luego incubación sobre agar de nutrientes o en caldo de cultivo.

Tipo de muestra II para muestras de levadura.

Muestra de fermentación amoniacal; incubación sobre agar o en caldo.

Tipo de muestra III para muestras de cerveza turbias por levadura.

Método de concentrado NBB o método de estabilidad de cerveza.

Tipo de muestra IV para muestras de mosto.

Método de filtración por membrana o método de concentrado NBB modificado.

Tipo de muestra V para aire.

Exponer abiertamente una muestra de agar durante algunos minutos.

Tipo de muestra VI para muestras de frotis.

Método por enriquecimiento en un medio líquido o filtración por membrana.

Son medios de cultivo importantes para esto, por ejemplo:

- agar de mosto,
- agar de NBB de diferentes composiciones, NBB-B, NBB-C, NBB-AM, etc.
- agar VLB S7,
- producto de autolisis de levadura,
- mosto lupulado,
- cerveza pasteurizada,
- muestra de fermentación amoniacal, etc.

De cada partida envasada se toma una muestra para estabilidad y se la guarda en un incubador a temperatura constante (26°C). La muestra para estabilidad no debe mostrar sedimentos y turbidez durante el período mínimo de conservación.

7.4.3 Análisis de la cerveza

Si se desea fabricar buena cerveza de calidad constante, se debe controlar permanentemente una serie de parámetros. Pertenecen a éstos, sobre todo:

- la determinación del contenido de mosto original con la determinación del contenido de extracto y de alcohol,
- la determinación del valor pH,
- la determinación del contenido de oxígeno en la cerveza,
- la determinación del contenido de diacetilo,
- la determinación de las unidades de amargor,
- la determinación del contenido de CO_2,
- la determinación de la estabilidad coloidal y otros exámenes.

7.4.3.1 Determinación del mosto original

La determinación del mosto original debe dar información sobre los ingredientes de la cerveza. Pero de los ingredientes originariamente presentes sólo hay fracciones, porque una parte substancial ha desaparecido por la fermentación. Es por ello que se debe tratar de determinar el contenido de extracto de la cerveza terminada antes de la fermentación.

El contenido de extracto del mosto antes de la fermentación es el contenido de mosto original (o contenido de extracto original) (Figura 7.2). Éste es, por ejemplo, 11,5%.

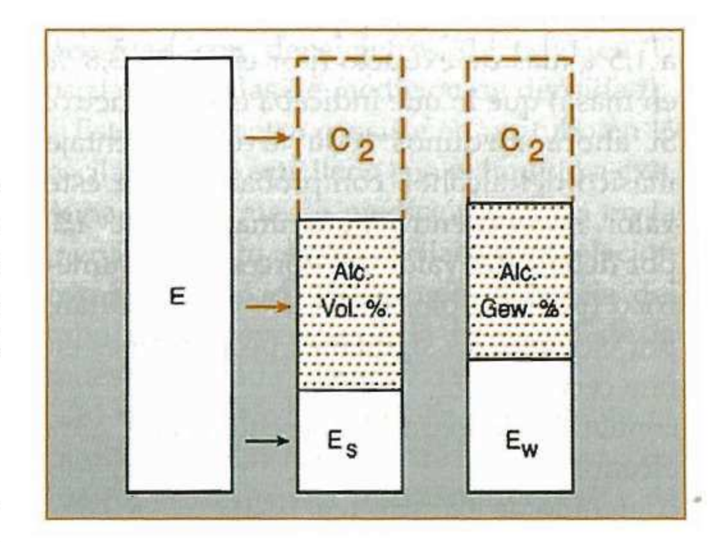


Figura 7.2
Cambios en el contenido de extracto y de alcohol durante la fermentación

Hemos visto (Sección 4.1.2.1.1) que el extracto fermentable es dividido en partes casi iguales de alcohol y dióxido de carbono. Pero las partes sólo son casi iguales, porque de 180 g de azúcar se forman 92 g de alcohol y 88 g de CO_2.

Si medimos ahora en nuestra cerveza el extracto no fermentable aún presente, por ejemplo en el caso más sencillo por medio de un sacarímetro, entonces medimos una cantidad considerablemente menor, por ejemplo 2,3%. El resto evidentemente ha sido fermentado; es decir, ha sido descompuesto en dos partes en peso = masa casi iguales de alcohol y CO_2. Si se mide el contenido alcohólico en la cerveza, se comprueban aproximadamente 4,9 % en vol.; es decir, 100 ml de cerveza contienen 4,9 ml de alcohol.

Pero estos datos sólo son correctos aparentemente, porque el alcohol específicamente más liviano hace que nuestro sacarímetro descienda algo más de lo que correspondería realmente. Es por ello que hablamos del extracto aparente (E_S). Para determinar el extracto verdadero, el extracto real (E_W), se debe extraer el alcohol, por ejemplo, por destilación. Luego comprobamos que hay 1 a 1,5% más de extracto (por ejemplo, 3,8 % en masa) que lo que indicaba el densímetro. Si ahora medimos todavía el porcentaje másico del alcohol, comprobamos que este valor se encuentra aproximadamente 1% por debajo del valor del porcentaje volumétrico (por ejemplo, 3,9%). De esto resultan, por ejemplo, las siguientes proporciones en una cerveza:

contenido de extracto aparente (E_S) = 2,3%
alcohol = 4,9% en vol.
contenido de extracto real (E_W) = 3,8%
alcohol = 3,9% en masa.

Pero, si ahora sabemos qué porcentaje másico de alcohol hay en nuestra cerveza, se puede calcular a partir de cuánto extracto se ha formado, dado que la cantidad de masa levemente menor de CO_2 se ha perdido entretanto, por supuesto. No obstante, su cantidad resulta del porcentaje másico determinado de alcohol.

Conocemos ahora el

- contenido de extracto real aún presente y el
- contenido de alcohol en % en masa.

Se agrega a esto una pequeña cantidad de extracto, que ha sido consumida por la levadura para la formación de nueva substancia celular. En total se puede calcular que de

2,0665 g de extracto se forman en promedio:

1,0 g	de alcohol,
0,9565 g	de dióxido de carbono y
0,11 g	de levadura: juntos 1,0665 g.

Según la Gran Fórmula de Balling, se calcula a partir de esto el contenido de mosto original (p) de la cerveza (es decir, el contenido de extracto antes de la fermentación) como sigue:

$$p = \frac{(A \cdot 2{,}0665 + E_W) \cdot 100\%}{100 + A \cdot 1{,}0665}$$

donde:

A = contenido alcohólico en % en masa
E_W = contenido de extracto real en % en masa.

De acuerdo con la Gran Fórmula de Balling, se deduce así el contenido de mosto original y este cálculo es utilizado, por ejemplo, en Alemania, para fijar el impuesto a la cerveza. Este cálculo no es correcto en el caso de:

- cervezas de las cuales se ha extraído alcohol (cervezas sin alcohol, cervezas light, cervezas dietéticas) y
- cervezas de levadura de fermentación alta (tipo Hefeweizen), porque la cerveza todavía contiene levadura.

Para determinar el contenido de mosto original se debe por ello determinar:

- el contenido de extracto de la cerveza y
- el contenido de alcohol.

Pero esto no se puede realizar de una sola vez, porque la fracción de ambos componentes difiere mucho y

- el contenido de extracto aumenta la densidad,
- el alcohol, por el contrario, disminuye la densidad.

El método más antiguo y laborioso consiste en destilar el alcohol (método por destilación) y medir exactamente

- la mezcla extracto-agua y
- la mezcla alcohol-agua

que se forman, y de esto determinar el contenido de mosto original.

Por ello, para cada análisis de cerveza es necesaria primeramente una determinación de densidad, la cual se realiza por medio de:

- un picnómetro,
- un densímetro de precisión,

- una balanza hidrostática o
- un densímetro de tubo en U oscilante.

La medición más exacta es la realizada por medio del picnómetro. Éste es un recipiente de vidrio con un tubo capilar muy delgado (Figura 7.3), con una marca de graduación de 50 ml. Por pesaje del volumen a 20°C se determina la relación de peso en estado sumergido 20/20°C. Para ello se debe pesar previamente una solución de referencia de agua. Este método es laborioso, pero muy exacto y se lo utiliza para análisis de referencia.

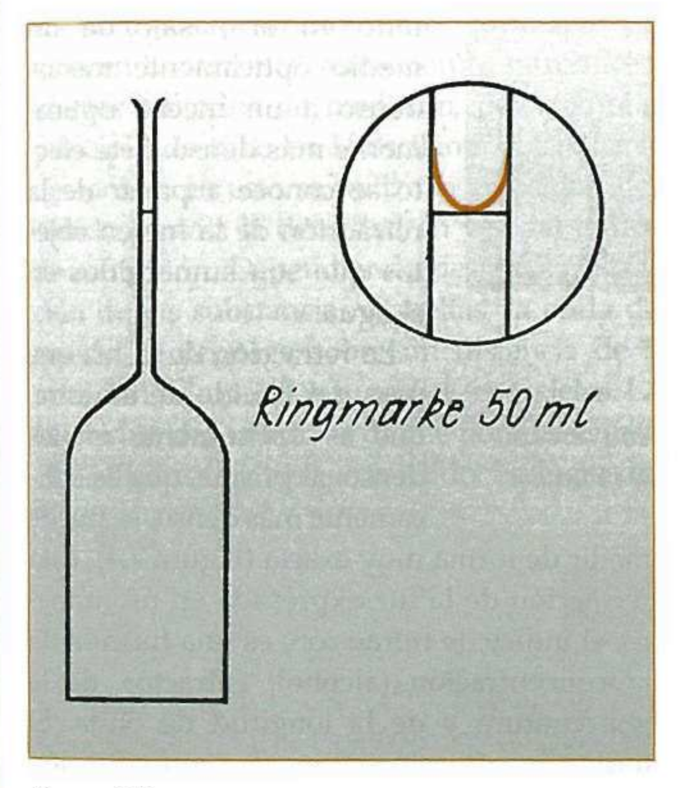


Figura 7.3
Picnómetro

La densidad también puede ser medida con ayuda de un densímetro de precisión; éste es un aerómetro que ya conocemos de la sala de cocción, el cual recibe su empuje en dependencia de la densidad del líquido en que se encuentra. Cuanto más fino está diseñado el tubo capilar, tanto más exacta es la indicación. La precisión es $2*10^{-4}$ g/cm³.

En las plantas modernas se determina la densidad con densímetros de tubo en U oscilante (celdas de medición de densidad).

Este densímetro consiste en un tubo en U oscilante, que está lleno con el líquido a examinar. Su forma de medición se basa en la inercia de las masas en oscilación en relación con su densidad. La frecuencia propia del tubo en U depende de la densidad de la muestra cargada (Figura 7.3a).

El densímetro de tubo en U oscilante es puesto a oscilar con una frecuencia característica; la frecuencia resultante depende de la densidad de la muestra cargada; la frecuencia resultante es medida y convertida por cálculo en densidad (Figura 7.3b).

Para la determinación del contenido de mosto original es necesario determinar el contenido de alcohol y el contenido de extracto real, lo cual se efectúa por medio de

- un análisis por destilación o
- un análisis por refracción.

Análisis por destilación

En el análisis por destilación se asume de que el alcohol tiene un punto de ebullición más bajo que el agua. Por medio de la destilación, el alcohol y una parte del agua se separan destilandolos.

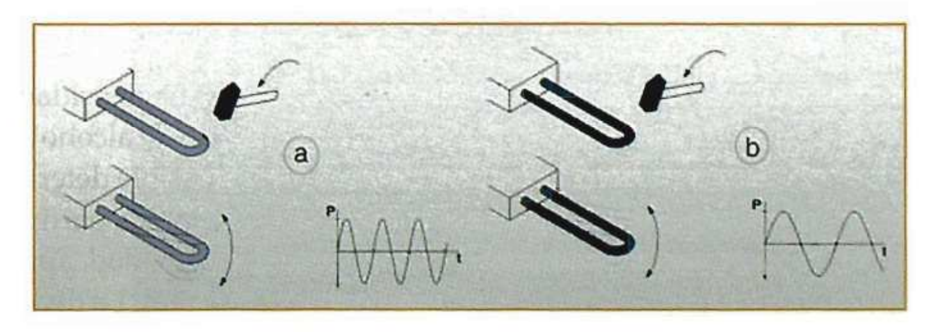


Figura 7.3a
Principio del tubo en U oscilante (a) tubo en U lleno con aire: baja densidad - tono alto; (b) tubo en U lleno con agua: alta densidad - tono bajo

Luego de equilibrar a 100 g a cada uno, se determina:

- el contenido alcohólico (A) del líquido destilado y
- el extracto real (E_W) del residuo completado.

La medición exacta se realiza por medio de un picnómetro.

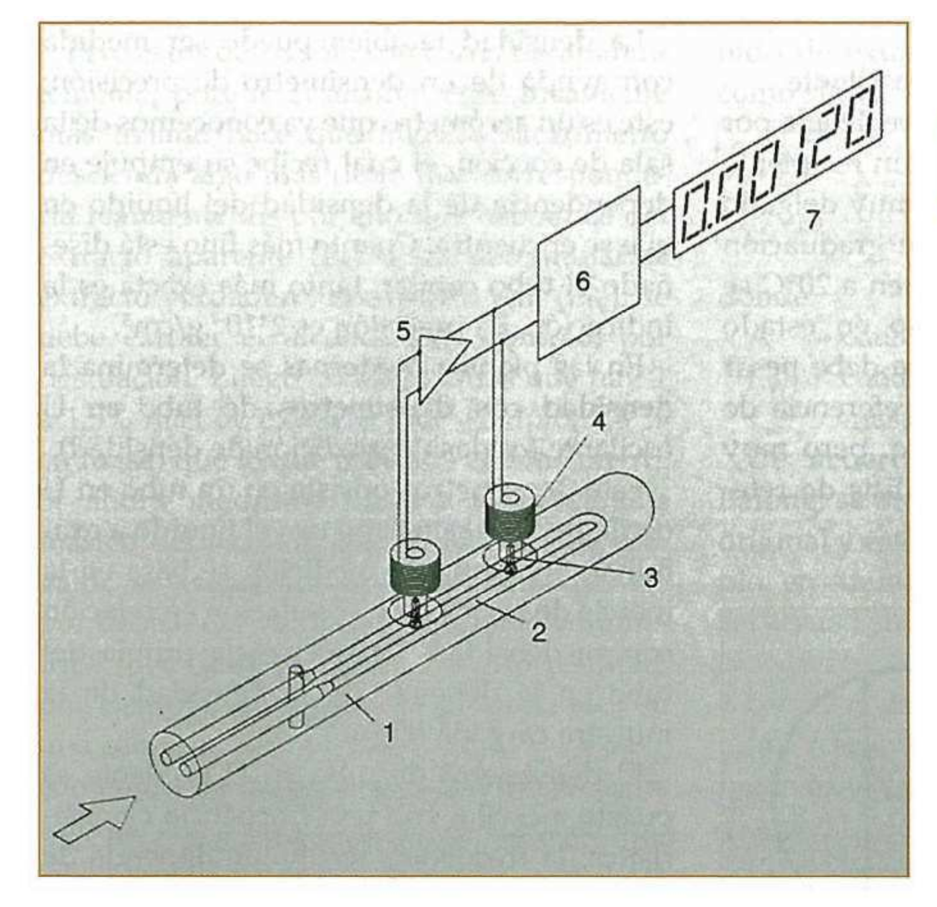


Figura 7.3b
Densímetro de tubo en U oscilante
(1) cilindro de vidrio lleno con gas, (2) tubo en U lleno con cerveza, (3) imán, (4) bobina, (5) amplificador, (6) evaluación, (7) indicador

Análisis por refracción

El principio del análisis refractométrico se basa en que un rayo de luz es refractado en el pasaje de un medio ópticamente menos denso a un medio ópticamente más denso. Este efecto se conoce a partir de la refracción de la luz en objetos que son sumergidos en el agua.

La refracción de la luz que pasa del líquido de muestra, que es ópticamente menos denso, al prisma, que es ópticamente más denso, se puede medir de forma muy exacta (Figura 7.4). Esta refracción de la luz expresada en un número, el índice de refracción, es una función de la concentración (alcohol, extracto), de la temperatura y de la longitud de onda. El índice de refracción se expresa como función del ángulo de entrada α y del ángulo de salida β del rayo de luz.

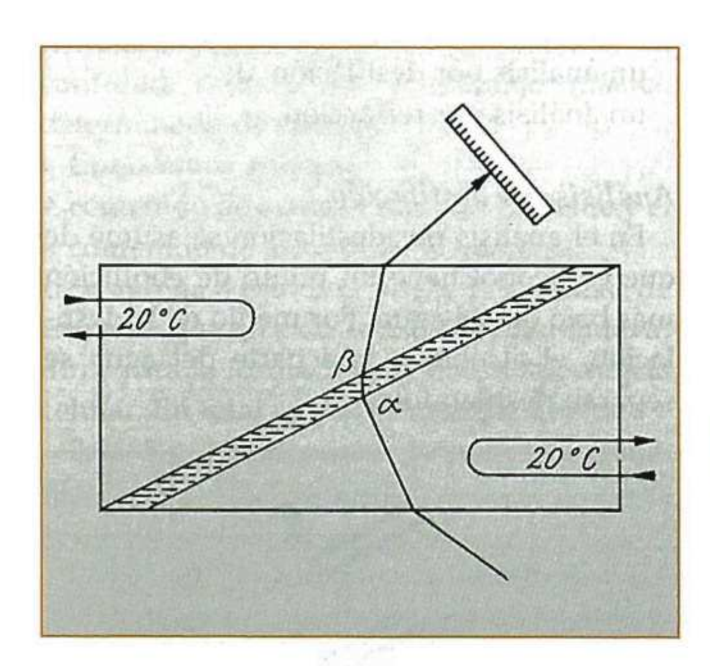


Figura 7.4
Determinación del índice de refracción

$$\text{Índice de refracción } n = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta}$$

La densidad del líquido resulta del contenido de alcohol y de extracto. De esta manera es posible determinar el contenido de mosto original a partir del índice de refracción, de la densidad aparente y de nomogramas especiales. La densidad aparente se determina por

medio de un hidrómetro (densímetro) o mediante un densímetro de tubo en U oscilante. El índice de refracción se determina por medio de un refractómetro de inmersión o un refractómetro con prisma calentable.

Equipos automáticos de análisis

Hoy en día, equipos automáticos de análisis reemplazan progresivamente los procesos recién descriptos de manera tal que procesan sucesivamente una gran cantidad de muestras de cerveza en breve tiempo y con una buena reproducibilidad. Combinan en esto los métodos descriptos antes (principio de tubo en U oscilante, refracción) o introducen nuevos métodos de medición, por ejemplo, principio de tubo en U oscilante y medición de sonido; en esto se utiliza la velocidad del sonido junto a la densidad en vez del índice de refracción. Dependiendo de la concentración de las substancias disueltas, la onda de sonido se propaga sobre un distancia de 5 mm, definida por dos superficies paralelas. La velocidad del sonido se define por el cociente entre distancia y tiempo medido. En lugar del índice de refracción se puede medir también directamente el contenido de alcohol, junto con la densidad; por medio de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR = Near Infrared Spectroscopy) se puede hacer una determinación selectiva de alcohol con alta resolución por absorción NIR. Esto posibilita tener hoy en día equipos automáticos de análisis, que permiten medir con gran precisión un sinnúmero de parámetros de análisis en brevísimo tiempo. Un ejemplo es el sistema de análisis de cerveza Alkolyzer Plus de Paar/Physika Messtechnik (Figura 7.5).

En éste se miden:

- el contenido alcohólico en % en vol.,
- la densidad en g/cm³,
- el color en unidades EBC y ASBC y
- el valor pH.

De esta manera es posible calcular en breve tiempo:

- el contenido alcohólico en % en peso (masa),
- el contenido de extracto real y el aparente,
- el contenido de mosto original,
- la densidad relativa,



Figura 7.5
Sistema de análisis de cerveza Alkolyzer Plus
(Foto: Anton Paar, Österreich)

- la atenuación real y la aparente,
- la energía fisiológia (contenido de calorías).

7.4.3.2 Determinación del color de la cerveza

La determinación del color ocurre de forma visual por comparación de color con discos estandarizados de colores. En un comparador se ajustan la muestra y los discos de colores hasta obtener el mismo valor cromático. En el caso de las cervezas oscuras es necesaria frecuentemente una dilución con un factor de dilución (K) para poder determinar el valor cromático.

Los colores se indican en unidades de la escala de EBC.

También es posible determinar el color de la cerveza de forma espectrofotométrica a los efectos de evitar influencias subjetivas por parte del ojo humano. La medición ocurre a una longitud de onda de 430 nm y es adaptada a la escala de EBC a través de un factor. El valor cromático es en:

- cervezas tipo Pilsener 6 a 11 EBC
- cervezas normales claras 7 a 12 EBC
- cervezas normales oscuras 30 a 40 EBC
- cervezas tipo Export Clara 7 a 15 EBC
- cervezas tipo Export Oscura 45 a 100 EBC
- cervezas tipo Märzen claras 9 a 15 EBC
- cervezas tipo Bock claras 8 a 15 EBC

7.4.3.3 Determinación del valor pH

En el análisis de la cerveza se mide también siempre el pH. La medición del pH es muy importante, porque de éste dependen considerablemente todos los procesos enzimáticos y también los microorganismos en lo que a su comportamiento respecta.

La medición del pH se realiza

- con un electrodo de vidrio y
- con un electrodo de referencia.

Ambos están generalmente combinados en una cadena monovarilla de medición. La cadena monovarilla es colocada usualmente en una carcasa protectora y así también es utilizable bajo condiciones de trabajo.

El valor pH es usualmente:

- 5,3 a 5,5 (óptimo en 5,0 a 5,2) en el mosto caliente,
- 4,3 a 4,6 (óptimo en 4,2 a 4,3) en la cerveza.

7.4.3.4 Determinación del contenido de oxígeno en la cerveza

Uno de los controles más importantes durante la fabricación de cerveza es el monitoreo del contenido de oxígeno. Valores altos de oxígeno tienen una influencia muy negativa sobre la calidad de la cerveza y sobre su estabilidad de sabor.

En el caso más sencillo se controla el aire en el espacio de cabeza de la botella, o de la lata, por medio del método de embudo sumergido en agua, con o sin bureta adicional.

En el método de embudo sumergido en agua, el gas que se encuentra en el cuello de la botella es captado bajo un embudo lleno con gas (Figura 7.8) y conducido luego lentamente a través de una columna líquida de soda cáustica, donde el CO_2 es absorbido para formar $NaHCO_3$. El gas residual –aire compuesto por nitrógeno y oxígeno– es captado en una bureta y se realiza la lectura del volumen como "aire en el cuello de la botella". ¡Una burbuja de aire de 1 ml corresponde a un contenido de O_2 de 0,28 mg! El resultado siempre se indica en ml de aire/botella o lata.

Con la ayuda del "head space analyser" de Orbisphere existe un método más preciso para la determinación del oxígeno en el espacio de cabeza.

Más importante aún que la determinación del oxígeno es la determinación del oxígeno total. El oxígeno total está compuesto por la fracción disuelta en la cerveza y la contenida en el espacio de cabeza. Para ello, la cerveza es sacudida primeramente de acuerdo con reglas definidas y, por medio de una subsecuente medición directa, se determina el oxígeno total utilizando un valor de tabla. Esta

medición del oxígeno total ocurre electroquímicamente (Dr. Thiedig, Orbisphere, Mettler-Toledo, etc.). El oxígeno es reducido en el cátodo de una celda de medición a una determinada tensión (de polarización). La corriente así generada es medida. Ésta es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno y con ello al contenido de oxígeno.

La medición se realiza:

- con celdas de medición cubiertas por membrana o
- con celdas de medición sin membrana.

Medición por medio de celdas de medición cubiertas por membrana

La medición ocurre generalmente por medio de una célula polarográfica de membrana según Clark. En esto se utiliza oro o platino para el cátodo y plata/cloruro de plata para el ánodo. La lámina de membrana es de PTFE o PE de 10 a 25 µm de espesor.

Medición por medio de celdas de medición sin membrana

La reducción del oxígeno ocurre en un electrodo polarizado. Se utiliza este principio de medición electroquímico por medio de un ordenamiento de tres electrodos, que se regula potenciostáticamente. De este modo se emplea la cerveza como electrolito y se hace la medición directamente sin membrana (por ejemplo, el aparato Digox de la empresa Dr. Thiedig). La medición puede ser realizada en el laboratorio o in situ a través de equipos transportables o estacionarios. Una corriente parcial de la cerveza es pasada entonces en derivación (10 l/h) por un sensor y se determina el contenido de oxígeno en forma directa (Figura 7.7).

Se pueden esperar valores que se encuentran:

- en la cerveza de tanque de resposo, en 0,00 a 0,01 mg/l,
- en la entrada de la llenadora, en 0,02 a 0,03 mg/l y
- en la cerveza envasada, en 0,10 a 0,15 mg/l.

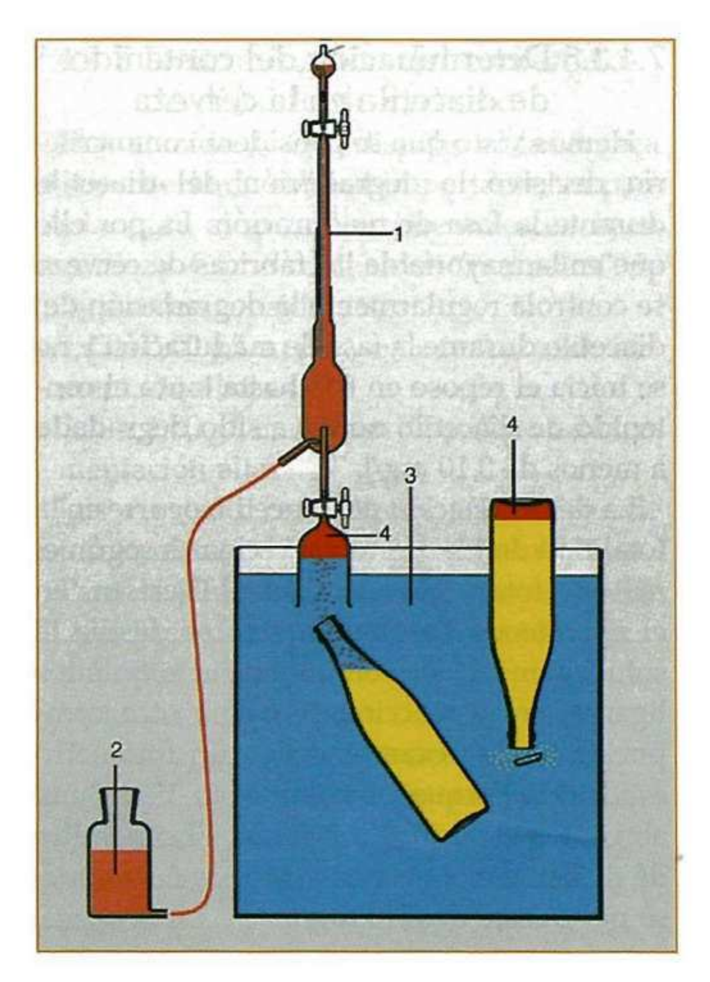


Figura 7.8: Método de embudo sumergido en agua
(1) recipiente de compensación
(2) parte llena con soda cáustica para la absorción del CO_2
(3) bureta graduada
(4) embudo de vidrio llenado con agua
(5) aire en el cuello de la botella abierta

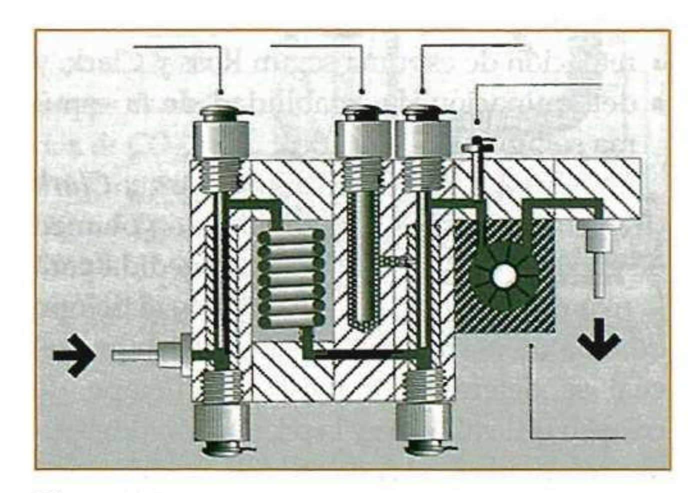


Figura 7.7
Medición en derivación del contenido de oxígeno
(Empresa Dr. Thiedig, Berlin)

7.4.3.5 Determinación del contenido de diacetilo en la cerveza

Hemos visto que se considera como criterio decisivo la degradación del diacetilo durante la fase de maduración. Es por ello que en la mayoría de las fábricas de cerveza se controla regularmente la degradación del diacetilo durante la fase de maduración y no se inicia el reposo en frío hasta tanto el contenido de diacetilo no haya sido degradado a menos de 0,10 mg/l.

La determinación del diacetilo ocurre en la totalidad de las dicetonas vecinales según el método fotométrico de Hetzel/Gjertsen, en el aparato de Parnas. En esto se destila la solucion mezclada con un producto químico ligante; en la reacción se forma otro compuesto que es examinado en un fotómetro espectral, porque el compuesto tiene una absorción específica a 335 nm. El contenido de diacetilo en la cerveza debería encontrarse por debajo de 0,10 mg/l.

7.4.3.6 Determinación de la retención de espuma

Dado que la retención de espuma es un criterio de calidad importante, se la determina muy frecuentemente. Se utilizan para ello principalmente dos métodos, cuyos resultados, sin embargo, no pueden ser comparados entre sí:

- retención de espuma según Ross y Clark, y
- determinación de estabilidad de la espuma según NIBEM.

En el caso del ***método según Ross y Clark (R&C)*** se produce un determinado volumen de espuma en la cerveza. Como medida para la retención de espuma vale en esto el tiempo de vida media de las burbujas de espuma, el cual se determina a partir del tiempo de colapso de la espuma y la proporción de espuma colapsada con respecto a la espuma aún presente. Este método se utiliza particularmente cuando debe excluirse la influencia del contenido de CO_2 en la cerveza sobre la formación de espuma.

La espuma es tanto más estable cuanto más alto es el valor. Los valores de espuma se encuentran entre 90 y 140 s; en la media aproximadamente en 120 s.

En el caso del ***método según NIBEM*** se determina el tiempo dentro del cual la superficie de una corona de espuma (Figura 7.9, A) desciende 10, 20 ó 30 mm (B). La medición ocurre a través de un sistema móvil de electrodos (a) con agujas largas (b y c). El tiempo se mide en segundos. Como escala de evaluación puede regir:

- valores por debajo de 220 s son muy malos,
- valores entre alrededor de 260 a 280 s son buenos y
- valores por encima de 300 s son muy buenos.

Medición por medio del Lg-Foamtester (LG-Automatic aps, Frederiksvark/DK)

La estabilidad de espuma depende también de una serie de factores medioambien-

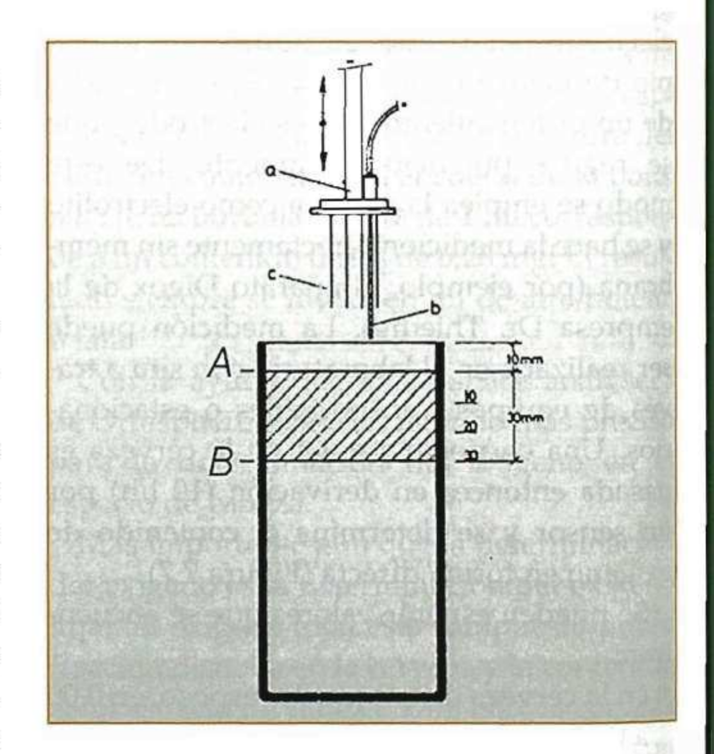


Figura 7.9
Sistema de electrodos del aparato de medición de estabilidad de espuma de NIBEM

tales, tales como temperatura, presión atmosférica, humedad del aire, etc. Estos factores influyen sobre la lectura, de manera que no es posible un resultado objetivo. A los efectos de excluir estos factores medioambientales, se desarrolló el Lg-Foamtester (Figura 7.9a). La producción de espuma ocurre aquí por presión sobre un volumen constante de cerveza para atravesar una tobera de 0,6 mm de diámetro. Detrás de ésta, la espuma se desarrolla en un cilindro de vidrio, donde se mide el colapso de esta última por medición óptica. La utilización de una cantidad constante de cerveza conduce a tiempos de colapso de espuma, que se correlacionan con los resultados del método R&C. La presión atmosférica, la humedad del aire y el movimiento del mismo no tienen influencia alguna sobre los resultados, dado que la medición tiene lugar en un sistema cerrado.

Figura 7.9a
Lg-Foamtester

7.4.3.7 Determinación del contenido de dióxido de carbono

El contenido de CO_2 disuelto en la cerveza es un criterio de calidad importante, en particular para alcanzar una buena rescencia en la cerveza. Como contenidos "normales" de CO_2 pueden considerarse:

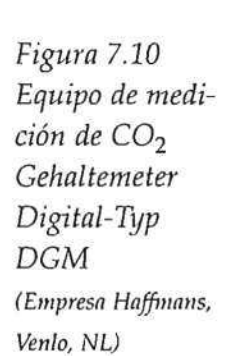
- 0,45 a 0,60 g/l en el caso de cervezas de fermentación baja y
- 0,40 a 1,00 g/l en el caso de cervezas de fermentación alta.

Las cervezas con valores por debajo de éstos comienzan a tener un sabor insípido.

Para la determinación del contenido de CO_2 existen dos tipos básicos de métodos:

- métodos manométricos y
- métodos volumétricos.

En tanto que los métodos volumétricos son muy laboriosos, se determinan en los métodos manométricos únicamente la presión en la botella intensamente sacudida y la temperatura.



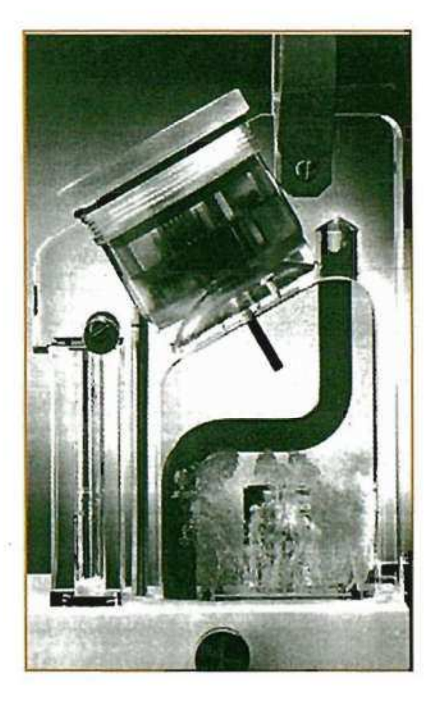


Figura 7.10
Equipo de medición de CO_2 Gehaltemeter Digital-Typ DGM
(Empresa Haffmans, Venlo, NL)

El método se basa en la ley de Henry Dalton. De acuerdo con esto, a una determinada temperatura, la concentración del gas (ideal) disuelto en el líquido es porporcional a la presión parcial del gas en la fase gaseo-

sa, siempre que haya un estado de equilibrio. El estado de equilibrio se alcanza por sacudida fuerte o por inversión constante de las botellas, o por medio de un calentamiento eléctrico (Figura 7.10); la presión se mide con un manómetro.

A partir de esto y de la temperatura se calcula el contenido de CO_2. Este principio de medición se emplea también a menudo en mediciones de CO_2 en línea.

7

7.4.3.8 Determinación de las unidades de amargor

La determinación de las unidades de amargor es un control importante, dado que el amargor influencia considerablemente el sabor de la cerveza.

La determinación de las unidades de amargor (según EBC/ASBC) ocurre de forma espectrofotométrica según un proceso, sobre el cual no se entrará en detalle aquí. Los valores para diferentes variedades de cerveza son:

- tipo Pilsener 25 a 40 IBU
- cervezas normales claras 20 a 30 IBU
- tipo Export Clara 22 a 26 IBU

7.4.3.9 Determinación de la tendencia a enturbiamiento

Una verificación muy importante es la tendencia a enturbiamiento de la cerveza. La cerveza filtrada brillante pierde su brillantez con el tiempo, hasta que finalmente se produce un enturbiamiento. Es por ello que se desea saber lo más pronto posible si la cerveza será estable por mucho tiempo o si tiende a enturbiarse. Por este motivo se desarrollaron métodos de verificación, que, al cabo de pocos días, permiten una predicción respecto de la tendencia a enturbiamiento de la cerveza. El método más importante es la prueba forzada. En la prueba forzada se sumergen alternadamente 5 botellas como mínimo cada 24 h:

- en agua caliente a 40°C (cerveza sin tratar) o bien a 60°C (cerveza estabilizada)
- y luego en agua fría a 0°C,

durante el tiempo necesario hasta que sea visble un aumento de turbidez de 2 unidades EBC de formazina o una leve opalescencia. Por multiplicación de la estabilidad determinada, expresada en días de formación de turbidez, por un factor de conversión, se obtiene aproximadamente el tiempo que la cerveza se mantiene sin enturbiamiento.

Aparte de esto se utilizan métodos de precipitación para la determinación de la tendencia a enturbiamiento. Se mide, por medio de un nefelómetro (por ejemplo: Tannometer (Pfeuffer) u Opto-ems (Raske und Schneider-Brew-Service)), el enturbiamiento causado por la precipitación de proteínas o fenoles con substancias correspondientemente reactivas. El ensayo más conocido es la determinación de los compuestos tánicos, una forma particularmente reactiva de los compuestos fenólicos. A través del ensayo alcohol/frío según Chapon se registran principalmente los compuestos inestables de proteínas y taninos, los cuales influyen negativamente tanto sobre la estabilidad coloidal como sobre la filtrabilidad de las cervezas. El ensayo alcohol/frío es realizado en el Tannometer (Tannomat) en el término de una hora con una pequeña cantidad de muestra (4 ml) e indica una clara correlación con la prueba forzada.

7.4.3.10 Filtrabilidad de la cerveza

Para la fábrica de cerveza es importante poder predecir la filtrabilidad de la cerveza. En el caso de dificultades de filtración se produce una serie de fenómenos indeseados:

- aumenta la merma de cerveza,
- aumenta el consumo de kieselgur y de placas,
- se generan más costos de personal,
- se genera un mayor requerimiento de agua, calor y energía eléctrica, y

- se generan mayores cargas sobre las aguas residuales.

Para el control de la filtrabilidad existen:

- el ensayo con filtro de membrana y
- el test de Raible.

En el ensayo con filtro de membrana, la cerveza enfriada a 0°C es pasada a través de un filtro de membrana bajo una presión de 2,0 bar (Figura 7.10a). En este proceso se determina periódicamente la cantidad de líquido filtrado por medio de pesaje con una balanza colocada debajo. A partir de ello se calcula un número característico que puede servir como valor de comparación para la filtración. El número característico se indica en gramos. En esto, los valores por debajo de 50 son considerados malos, lo que están por encima de 100 son considerados buenos y los valores intermedios se consideran normales-buenos.

En el test de Raible se filtra la cerveza enfriada a 0°C utilizando kieselgur.

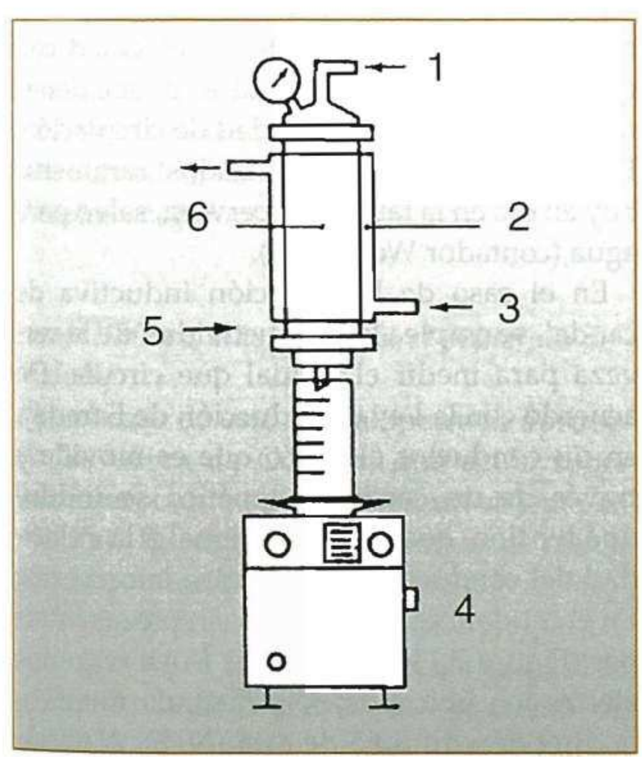


Figura 7.10a
Ensayo con filtro de membrana
(1) gas comprimido, (2) camisa de refrigeración, (3) medio refrigerante, (4) balanza, (5) filtro de membrana, (6) espacio de infusión

7.4.3.11 Otros exámenes

Sólo una fábrica de cerveza de tamaño mayor puede darse el lujo de realizar permanentemente por sí misma los exámenes mencionados hasta aquí. Otros exámenes son efectuados en caso de necesidad o para controles ocasionales por los grandes laboratorios de análisis, que disponen para ello de instalaciones de costo y requerimiento de personal muy altos.

Algunos de estos exámenes se ennumeran aquí con los valores normales:

- ***Nitrógeno total***
  mosto caliente — *900 a 1100 mg/l*
  cerveza (12%) — *700 a 800 mg/l*
- ***Formol-N***
  mosto caliente — *300 a 350 mg/l*
  cerveza (12%) — *160 a 210 mg/l*
- ***Aminonitrógeno libre (FAN)***
  mosto caliente — *200 a 250 mg/l*
  cerveza (12%) — *100 a 120 mg/l*
- ***Polifenoles totales (EBC)***
  cerveza — *150 a 200 mg/l*
- ***Antocianógenos***
  cerveza — *50 a 70 mg/l*
- ***Nitratos***
  cerveza — *20 a 30 mg/l*

Aparte de ello se pueden realizar muchos exámenes diferenciadores, cuya descripción sobrepasaría, sin embargo, el alcance de este capítulo.

7.5 Técnicas de análisis y de medición de procesos

Junto con el control preciso de la materia prima, de los productos semielaborados y de los productos finales, es cada vez más necesario medir una serie de parámetros durante el proceso en curso. Esto es tanto más necesario porque el mantenimiento de una calidad constante de producto se puede lograr solamente controlando el mantenimiento de la calidad de los productos semielaborados. Esto a su vez sólo es posible hoy en día implementando tecnología de medi-

ción en línea, en combinación con el sistema de comunicación utilizado en la compañía.

Los sensores se encuentran:

- en línea (online): entonces el registro de la magnitud de medición ocurre directamente en el equipo, por ejemplo, en el tanque o en la tubería, o se encuentran:
- fuera de línea (off-line): en este caso están totalmente fuera del proceso, por ejemplo, en el laboratorio o como estación densimétrica en la sala de cocción, y necesitan del apoyo del tomador de muestras humano.

El término "inline", utilizado frecuentemente en vez de "online", no es usado en la técnica de medición.

En la técnica de análisis y de medición de procesos existe hoy en día una cantidad creciente de diferentes posibilidades. Se detallan aquí brevemente las siguientes mediciones o sensores usuales [211]:

- instrumentos de medición de temperatura,
- instrumentos de medición de caudal,
- instrumentos de medición de nivel,
- instrumentos de medición de densidad,
- instrumentos de medición de turbidez,
- instrumentos de medición de oxígeno,
- instrumentos de medición de pH,
- instrumentos de medición de conductividad,
- sondas de valor límite e
- instrumentos de medición de presión.

7.5.1 Medidores de temperatura

El instrumento de medición de temperatura usual es el Pt100. El término Pt indica un hilo fino de platino que posee una resistencia de 100 Ω (a 0°C) y se encuentra alojado en una pequeña cápsula de vidrio. Se sabe de este hilo qué resistenica eléctrica posee a una determinada temperatura. Estos Pt100, colocados en un tubo protector de acero inoxidable y sellados con resina sintética, se comercializan como sensores o se los fabrica como transductores de medición. En éstos están establecidos los rangos de medición (50 ó 100 K son usuales; por ejemplo, 0 a 100°C, 0 a 50°C) y suministran una señal de salida estandarizada, como una corriente o una tensión (por ejemplo, 4 a 20 mA, 0 a 10 V), que puede ser procesada directamente por el control lógico programable (PLC).

7.5.2 Instrumentos de medición de caudal

Para muchos procesos, el caudal que circula es importante. Como instrumentos de medición de caudal se utilizan

- contadores con partes móviles,
- caudalímetros magneto-inductivos,
- caudalímetros másicos según el principio de Coriolis,
- instrumentos que usan impulsos por ultrasonido.

En el caso de los contadores con partes móviles (contador de émbolo rotativo, de ruedas ovaladas o de turbina), la corriente de líquido impulsa una rueda de forma específica o un pistón. A partir de la velocidad con que giran el pistón o la rueda, se puede determinar el caudal y la velocidad de circulación. Estos contadores son utilizados raramente hoy en día en la fábrica de cerveza, salvo para agua (contador Woltmann).

En el caso de la medición inductiva de caudal, se emplea la conductividad de la cerveza para medir el caudal que circula. De acuerdo con la Ley de Inducción de Faraday, en un conductor eléctrico que es movido a través de un campo magnético se induce una tensión, que es proporcional a la velocidad del conductor –en este caso la cerveza–. En el caudalímetro –un tubo sin piezas internas (Figura 7.11)–, la cerveza fluye entre los electrodos ubicados perpendicularmente a la dirección de flujo de ésta (N+S). A través de un dispositivo de evaluación apropiado se puede efectuar la lectura del caudal directamente en el instrumento indicador. Esta medición es altamente precisa e independiente de la presión, la temperatura, la vis-

co[illegible]dad y la consistencia del producto (las diferencias de temperatura pueden ser compensadas electrónicamente). Estos caudalímetros trabajan completamente libres de desgaste y permiten controles de la mayor precisión. Sin embargo, el resultado de medición es distorsionado por burbujas de gas. Es por ello que éstas deben ser separadas antes de la medición.

Los caudalímetros magneto-inductivos son calibrables (medición de cantidad de mosto frío).

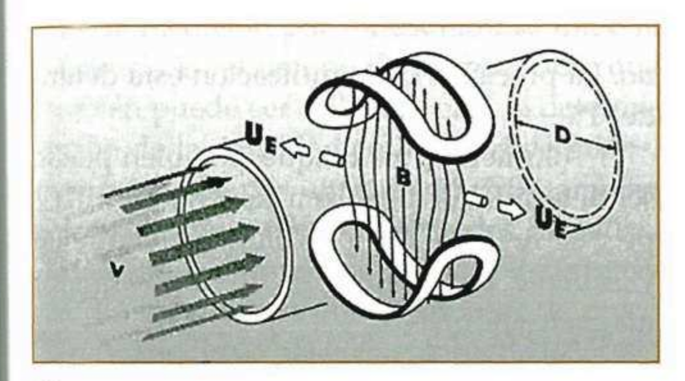


Figura 7.11
Principio de la medición inductiva de caudal (UE) tensión de medición, (D) diámetro (distancia entre electrodos), (v) velocidad de flujo, (B) campo magnético

Caudalímetro másico según el principio de Coriolis

En el caso de este caudalímetro se aprovecha la fuerza de Coriolis, que actúa sobre cada cuerpo que se mueve en un sistema en rotación. En esto se superponen el movimiento rotatorio y un movimiento traslatorio. En la aplicación de este principio para la medición de la masa que circula se pasa la bebida a medir a través de un tramo de medición compuesto por dos tubos o bucles de tubo paralelos o un tubo helicoidal. Los tubos de medición son sometidos a vibraciones. Esto causa una diferencia de fases entre el principio y el final del tubo de medición. Este cambio de la frecuencia de resonancia es medido; es proporcional al flujo másico y también puede ser utilizado como medición de densidad.

El proceso tiene una alta precisión y puede ser usado en equipos calibrados oficialmente.

7.5.3 Instrumentos de medición de nivel

La medición de la cantidad llenada es de gran importancia. En muchos casos importa en esto no exceder el nivel de llenado máximo permitido a fin de prevenir daños. En el caso de productos a granel se utilizan tres sistemas diferentes:

- sensores capacitivos, que, si bien son baratos, tienen, sin embargo, sólo una reducida capacidad de diferenciación,
- sensores por vibración, cuya vibración es amortiguada tan pronto como el sensor está cubierto de cereal, lo cual puede ser fácilmente evaluado por la electrónica incorporada, y
- señalizador por rueda de paleta, cuya rueda de paleta accionada por motor es detenida tan pronto como la carga a granel ha alcanzado un determinado nivel.

Para líquidos se emplea una variedad de sondas.

La Figura 7.12 muestra la medición de nivel en un recipiente cerrado, basada en diferencias de presión (Endress + Hauser). De la diferencia entre la presión total, medida en el sensor 1, y la presión de cabeza debida al CO_2, medida con el sensor 3, resulta el nivel de llenado compensado por presión. Pero éste depende de la densidad.

En el caso de tanques verticales u horizontales, también es posible determinar el volumen contenido en el tanque por medio de ultrasonido (principio de ecosonda). Para ello, una de las sondas mide el diámetro del tanque y la otra mide la altura hasta el nivel de la cerveza (Figura 7.13). En un aparato de evaluación se determina a partir de ello el volumen contenido en el tanque. Las sondas

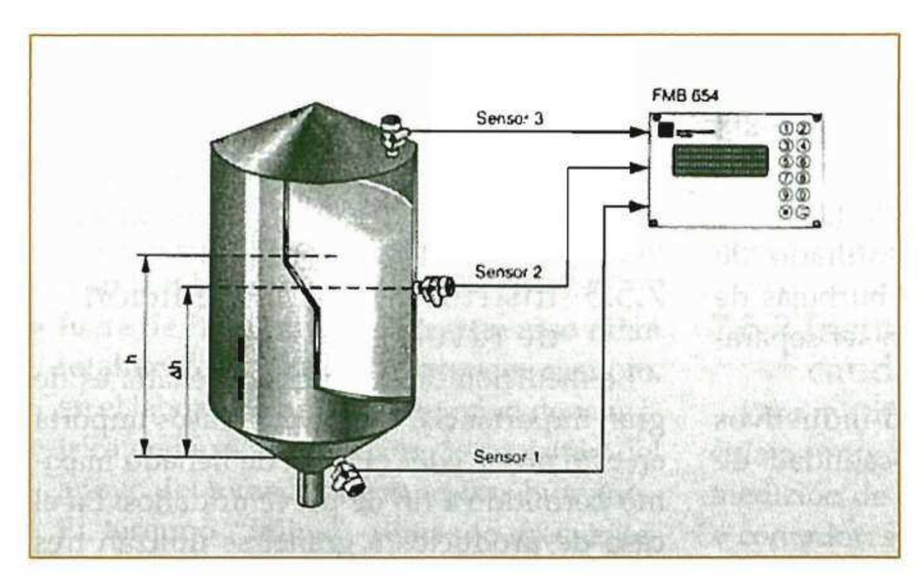


Figura 7.12
Medición de nivel sobre la base de diferencias de presión

son simplemente pegadas exteriormente al tanque, de manera que se prescinde de piezas instaladas en el interior. En el caso de tanques horizontales recién hay una indicación cuando el tanque está más que semilleno. La precisión de la indicación está dentro del 1%.

Figura 7.13
Medición de volumen contenido por medio de ultrasonido
(principio de ecosonda) (Empresa nl-Automation)

El volumen en los tanques también puede ser determinado de forma bastante sencilla y precisa registrando los volúmenes entrante y saliente por medio de un caudalímetro magneto-inductivo.

Los sensores de aviso de vacío (sobre la base de la medición de la conductividad o a través de sensores por vibración) dan una señal si el tanque se encuentra ocupado o vacío.

7.5.4 Instrumentos de medición de densidad

Como instrumentos de medición de densidad se utilizan densímetros de tubo en U oscilante o sensores por ultrasonido. En combinación con otros métodos, también se los utiliza para la determinación del contenido alcohólico en la cerveza. Por ejemplo, densímetros de tubo en U oscilante con sensores por ultrasonido (Anton Paar, Graz) o sensores por ultrasonido con caudalímetros másicos según Coriolis (Diessel, Hildesheim).

La medición de extracto es realizada de diferentes formas.

La densidad del mosto se determina por medio de densímetros de tubo en U oscilantes, ultrasonido y caudalímetros másicos.

Los valores de la cerveza (contenido de mosto original, contenido de extracto, grado

d ermentación) se determinan con:
- ensímetro de tubo en U oscilante y efracción o
- ensímetro de tubo en U oscilante y ultra-onido, o
- audalímetro másico y ultrasonido.

or medio de la medición inductiva de cauda con medición por ultrasonido es posible medir en línea y permanentemente la concentración del mosto y lograr de esta manera, en combinación con una regulación apropiada, una optimización de la concentración de mosto original (Diessel, Hildesheim).

En la medición por ultrasonido se mide la diferencia en el tiempo de propagación, que también puede ser utilizada para la determinación de la densidad en líquidos definidos. Esta medición por ultrasonido (US) también puede ocurrir a través de paredes delgadas, de manera que no son necesarias piezas internas. En los sistemas por ultrasonido, la precisión de medición alcanza valores de 0,2 % en masa. Por este motivo se los utiliza, por ejemplo, para las indicaciones de extracto en las pailas de mosto, para la separación de las mezclas inicial y final en la filtración o para la redilución en el proceso High Gravity.

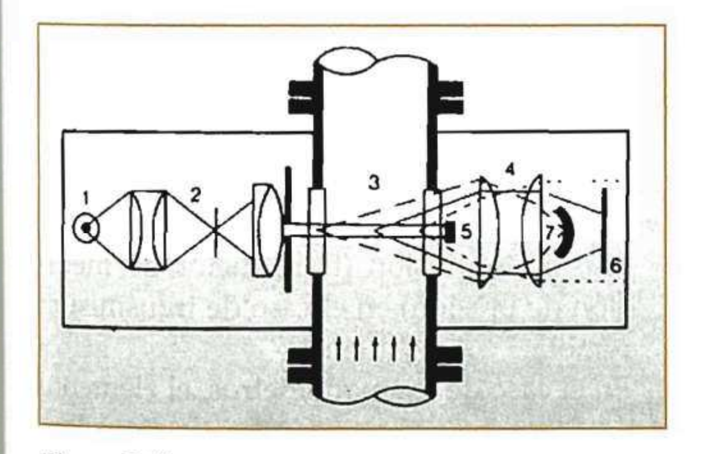


Figura 7.14
Medición de turbidez
(1) fuente de luz, (2) óptica de proyección, (3) medio de proceso, (4) óptica receptora, (5) detector de luz transmitida, (6) detector de luz dispersa, (7) trampa de luz

Para mediciones aún más precisas se utilizan sistemas que operan según el principio de tubo en U oscilante, que alcanzan precisiones de $5 \cdot 10^{-5}$ g/cm^3. Aparte de su uso en el laboratorio, se utilizan los tubos en U oscilantes para el registro de las variaciones de concentración durante la clarificación. La forma de operación del tubo en U oscilante ya ha sido detallada en la Sección 7.4.3.1.

La medición de presión diferencial (Endress + Hauser) se basa en la correlación de la presión diferencial con la altura hidrostática y la densidad del medio. Dos sensores de medición de presión extremadamente precisos miden la presión hidrostática en dos alturas diferentes del tanque. Conociendo la diferencia de altura se puede calcular a partir de esto la densidad de operación a la temperatura actual del tanque.

7.5.5 Instrumentos de medición de turbidez

Las mediciones de turbidez son complicadas, porque debe ser tenido en cuenta el tipo de turbidez. Por lo general se emplean hoy en día instrumentos que tienen en cuenta la absorción y la dispersión. En esto, una fuente de luz definida exactamente se coloca perpendicularmente al flujo de líquido (Figura 7.14, 1). Por medio de la fuente de luz se emite un rayo de luz concentrado (2) a través del líquido (3). Enfrente se encuentra el receptor (4), que registra la absorción. Con ayuda del detector de luz dispersa (6) se capta esta última y se la evalúa. El ángulo de captación de la luz dispersa es importante para la evaluabilidad de la medición (luz dispersa en 90° ó 30°).

7.5.6 Instrumentos de medición de oxígeno

La medición del contenido de oxígeno en la cerveza ha ganado en importancia en los últimos años. En esto es cada vez más importante la medición de oxígeno con ins-

trumentos portátiles y progresivamente también con instrumentos estacionarios (ver al respecto Sección 7.4.3.4).

7.5.7 Instrumentos de medición de pH

La medición del pH es muy importante, dado que muchos procesos en la fabricación de mosto y de cerveza dependen del valor pH.

Se mide con un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, que usualmente son combinados para formar "cadena monovarilla de medición" y que además disponen de una compensación de temperatura. ¡Los electrodos de vidrio están hechos de vidrio muy delgado y son muy sensibles al tacto!

En muchas áreas se trabaja frecuentemente con instrumentos de medición portátiles. El ajuste de los instrumentos se efectúa con soluciones tamponadas.

7.5.8 Medición de la conductividad

La conductividad de líquido es proporcional a la concentración de iones en él. Es por ello que se puede utilizar la conductividad para la determinación de la concentración en soluciones acuosas, tales como soluciones de agentes de limpieza, soluciones con ácidos disociados o soluciones de desinfección y sus redosificaciones automáticas.

La unidad de medición para la conductividad específica es el Siemens (por ejemplo, mS/cm). Son preferibles las sondas de conductividad en las que los posibles depósitos no causan problemas.

7.5.9 Sondas de valor límite

Las sondas de valor límite son utilizadas para indicar determinadas alturas de llenado o para avisar que las mismas han sido alcanzadas. Con estas sondas se miden generalmente niveles mínimos o máximos, y también niveles intermedios en caso de necesidad. En general se requiere únicamente un resultado si/no.

Las sondas de valor límite se basan en la medición capacitiva o inductiva. También pueden ser evaluados la medición de conductividad, el cambio de la densidad óptima o magnitudes de medición mecánicas.

7.5.10 Medición de presión

En muchos puntos del recorrido de producción se debe medir la presión. La unidad de medida para la presión es el Pascal (Pa). Para mediciones técnicas se prefiere el bar. 1 bar = 10^5 Pa.

Aparte de ello, para las presiones reducidas se usa la unidad de medida "metros de columna de agua" (m col. H_2O) y para presiones aún más reducidas, mm col. H_2O. En manómetros antiguos se encuentra a veces la indicación kp/cm² = 1 at ~ 1 bar, que ya no se permite utilizar.

Los manómetros indican generalmente la sobrepresión en relación con la presión atmosférica. Es por ello que una presión manométrica de 0 bar significa una presión absoluta de 1 bar. Las sobrepresiones se indican por ello como presión manométrica, por ejemplo, presión manométrica (en Alemania: pü) = 3 bar o también p = 3 bar (m). Los datos de presión sin indicaciones adicionales son presiones absolutas.

Como dispositivos de medición se utilizan:

- manómetros para indicación local o
- sensor de presión (transductor de medición de presión) en el caso de transmisión remota.

En el caso de los manómetros, el elemento medidor consiste en un tubo de Bourdon, una lámina elástica o un muelle de membrana elástica de latón.

Como elemento medidor, los sensores de presión tienen frecuentemente tiras metálicas tipo "strain gauge" o utilizan efectos piezoeléctricos o procedimientos de medición capa-

citivos o inductivos; estos últimos sobre todo en combinación con membranas cerámicas.

Los sensores de presión son fabricados con márgenes de error de 0,6%, 1% y 1,6%. Los equipos nombrados en primer lugar deberían tener preferencia. Particularmente para el ajuste de sobrepresión debería darse preferencia, como mínimo, a manómetros Clase 1 a los efectos de prevenir sobrepresiones.

7.5.11 Tecnología de medición óptica

En los últimos años, también la tecnología de medición óptica ha sido integrada progresivamente en la tecnología de procesos y análisis de la fábrica de cerveza. Con la ayuda de la tecnología de medición óptica es posible evaluar flujos de substancias de forma más rápida que a través de la conductividad u otros métodos de medición, y tomar las medidas necesarias. El ahorro de tiempo y con ello la ganancia económica son aún mayores en comparación con la reacción humana (Figura 7.15). Tomando como ejemplo la separación de fases de la cerveza y la levadura se puede reconocer claramente que el punto de conmutación del fotómetro (t_1) se encuentra considerablemente más temprano que el valor medio del punto de conmutación debido al ojo humano (t_2) [287]. ¡Y el tiempo es dinero!

Las posibilidades para la utilización de la tecnología de medición óptica son, por ejemplo:

- contralavado de filtros,
- regulación de inicio de fermentación,
- dosificación de cerveza de malta tostada,
- concentración, desinfección, rociado de enjuague,
- carga de suciedad en la limpieza CIP,
- control de salida de la demanda de oxígeno químico,
- control de entrada del agua, etc.

La tecnología de procesos y análisis se ha desarrollado extraordinariamente en los últimos años y brinda a los cerveceros enormes posibilidades para controlar los procesos de forma muy presisa según especificaciones preestablecidas. Con ello se eliminan cada vez más las fuentes de error humano.

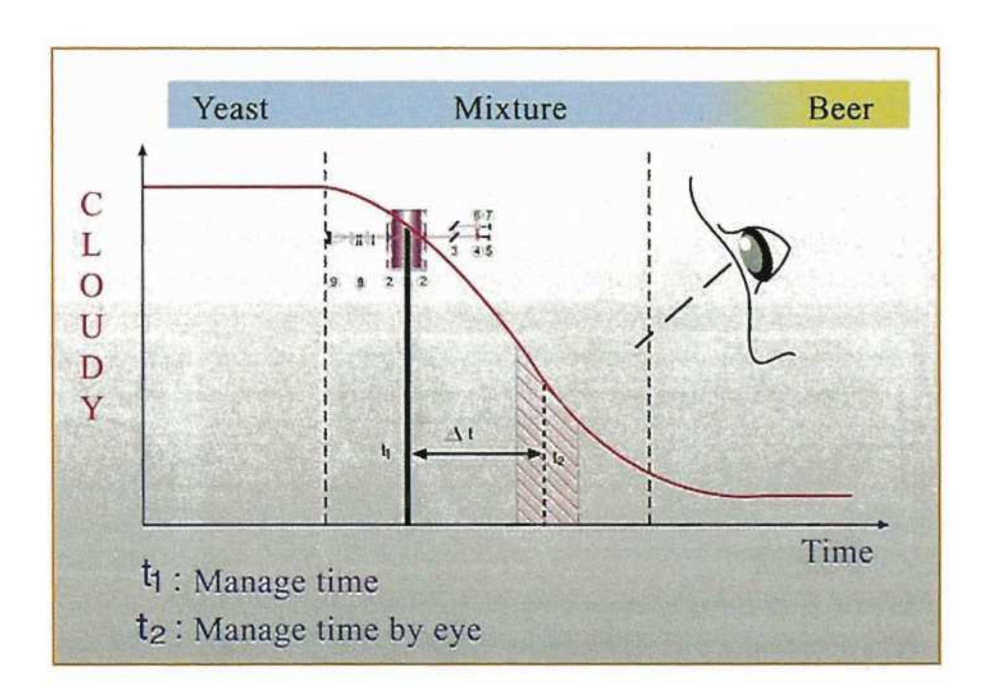


Figura 7.15
Desarrollo de la señal en la separación de fases cerveza - levadura

8 Cervecerías pequeñas

Hasta ahora siempre se habló de grandes volúmenes de ceveza y de instalaciones grandes. Al fin y al cabo, aproximadamente el 95% de la cerveza a nivel mundial se produce en grandes fábricas. Con sus marcas de cerveza, éstas dominan el mercado y cualquier persona puede comprar esas cervezas.

Pero en muchos países muchas personas tienen el creciente deseo de fabricar ellas mismas la cerveza o de estar sentadas en un restaurante y observar cómo se la fabrica, cómo huele y qué es lo que sucede. Por supuesto que la cerveza es fabricada siguiendo siempre los mismos pasos, tal como ha sido descripto. Pero hay una cantidad de particularidades en lo que respecta a estas "cervecerías pequeñas" que serán mencionadas aquí.

Se debe distinguir entre dos grupos diferentes; por un lado:

- los "cerveceros caseros" o también llamados "cerveceros aficionados", que fabrican su propia cerveza y beben (más o menos) las pequeñas cantidades que producen, y, por el otro lado:
- los "cerveceros de restaurante (o pub)" y los "cerveceros de microcervecerías", que fabrican y venden cerveza en el orden de aproximadamente 500 a 10.000 hl por año.

En algunos países se llama microcervecerías a pequeñas fábricas comerciales de cerveza con una producción en el orden de aproximadamente 30.000 hl. La cantidad de microcervecerías y cervecerías de pub es considerable y aumenta día tras día. En Alemania existen aproximadamente 680 microcervecerías y cervecerías de pub con una capacidad de producción de hasta 5000 hl por año. De éstas, 220 son cervecerías de restaurante. También en los EE.UU. su cantidad ha aumentado en los últimos años a más de 1300. En otros países también se abrieron microcervecerías y cervecerías de pub en gran cantidad.

En EE.UU. se distingue, en relación con las fábricas de cerveza pequeñas, entre:

- las fábricas de cerveza regionales, con una capacidad de producción de más de 17.550 hl = 15.000 US bbl y
- las microcervecerías, con una capacidad de producción por debajo de 17.550 hl = 15.000 US bbl.

La estructura de las cervecerías de restaurante está definida como en Alemania, en tanto que a las microcervecerías no se les permite la operación de restaurante.

Aparte de esto existen allí también fábricas de cerveza contratadas, que producen y distribuyen especialidades para otras fábricas de cerveza.

¿A qué se debe entonces la diferencia entre las cervecerías de pub y las microcervecerías?

De acuerdo con las disposiciones legales vigentes en el país, estas empresas venden su cerveza

- en el restaurante anexo (tal el caso de las cervecerías de pub, cervecerías de restaurante) o
- suministran su cerveza (en barril o en botella) (tal el caso de las microcervecerías) a restaurantes, porque no les está permitido o no desean vender cerveza en la fábrica de cerveza.

8. Cerveceros de restaurante (cerveceros de pub)

En las cervecerías de pub existe una relación directa entre la fabricación de cerveza y la gastronomía. Es por ello que el cervecero de pub tiene una relación muy estrecha con su clientela.

De una cervecería de pub, la clientela espera:

- poder ver (y eventualmente también oler un poco) cómo se fabrica la cerveza,
- ver al maestro cervecero, hablar con él y conocerlo,
- que la cerveza en el pub tenga buen sabor y que se tenga el deseo de beber otro vaso más,
- estar en el pub confortablemente sentada y ser entretenida,
- que junto con la cerveza haya una comida adecuadamente variada y fuerte, y
- encontrarse en compañía agradable en el pub.

Es por ello que se habla de restaurantes temáticos o bien de gastronomía temática.

Son elevadas las expectativas que debe satisfacer el cervecero de pub. Y cumplir con ellas no es nada fácil para éste, tal como lo demuestran cerveceros de pub que han fracasado. No se entra en discusión aquí respecto de la elección del edificio para la cervecería, la ubicación en la zona de influencia, la clientela esperada en la zona de influencia, el nivel y la capacidad de pago de la clientela esperada, las expectativas hacia el maestro cervecero, la gastronomía a instalar, su variedad, el gastrónomo mismo y el personal de servicio, etc. Sin embargo, se dará una indicación respecto de cuánto puede influir sobre el resultado la respuesta a esta pregunta y a otras similares.

El cervecero de pub estará por ello primeramente interesado en resaltar especialmente el valor de su instalación como atracción. Esto incluye, por ejemplo, un equipo de cocción atractivo (y en lo posible de cobre), en ciertas circunstancias también con un revestimiento atractivo de madera, exhibida cerca del público, casi al alcance de la mano. Los dos recipientes que él puede mostrar deberían estar apenas un poco más elevados para que cualquier persona pueda verlos. Debería haber automatización, pero sólo para el caso de que nadie se encuentre presente. En los demás casos debería estar presente el maestro cervecero "con el control manual". También debe ser exhibida la bodega de fermentación –se sobreentiende que esto es detrás de vidrio por motivos de higiene–, pero con la levadura en fermentación, que sea visible para cualquiera, en los recipientes de fermentación. Son atractivas las palmeras en la sala de cocción, pero tampoco deben faltar los adornos decorativos de pared. Al respecto se deberá tener algunas ideas. Todo lo que el cliente ve debe tener un efecto estimulante sobre él. También la música suave, un buen pianista o una banda musical que toque ocasionalmente hacen que el pub sea interesante y atractivo. El maestro cervecero también puede hablar sobre su cerveza o sobre su fabricación. ¡La clientela desea ser entretenida!

A veces es más difícil si el maestro cervecero cuece en presencia de los clientes: a algunos clientes no les resultan tan agradables los vahos con el olor a mosto. Estos vahos hasta pueden ahuyentar clientes. Los ruidos operacionales tampoco son recibidos tan positivamente. Es mejor no mezclar el valor visual de el equipo de cocción con ruidos y olores.

Las fotografías de salas de cocción de diferentes cervecerías de restaurante (Figura 8.1) son para brindar ayuda e ideas.

¿Qué equipo es entonces absolutamente necesario para un cervecero de pub y qué es lo que le viene bien como complemento? La parte esencial de las consideraciones para esto es el equipo de cocción.

La consideración básica debe partir de lo siguiente:









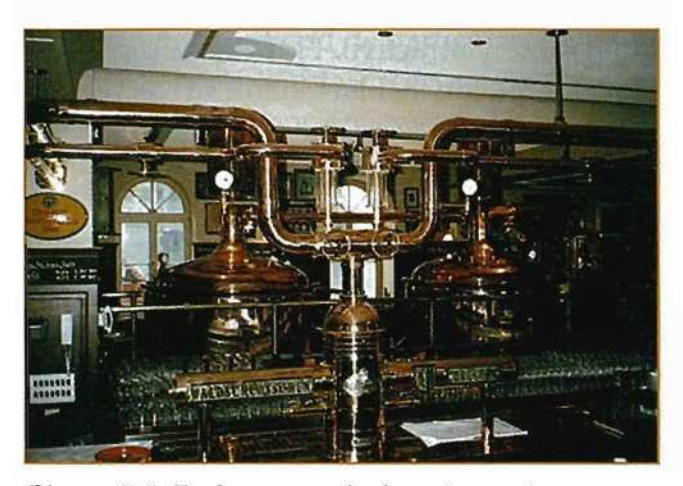




Figura 8.1: En la cervecería de restaurante

Las ilustraciones muestran diferentes salas de restaurante con sala de cocción integrada. Los dos recipientes de cocción de cobre (también pueden ser cobreados o revestidos en cobre) son siempre el centro de atención del cliente. Pero esto solo no alcanza aún: se los posiciona frecuentemente en el medio de la sala y ubicados en forma elevada, y se los separa por medio de una reja decorativa para prevenir accidentes -los recipientes a veces están calientes o rebosan un poco de su contenido. Un atractivo mostrador largo de cobre, hecho en el mismo estilo, es particularmente decorativo. A eso hay que agregar muchos adornos de pared típicamente cerveceros, ilustraciones o también viejos utensilios cerveceros. Todo esto tiene que tener un efecto verdaderamente interesante y excitante para los clientes y atraer mucho la atención.

También debería prestarse mucha atención a la forma y el diseño de la sala de restaurante: las secciones, rincones y áreas pequeñas son lugares de asiento frecuentemente pedidos.

Fotos: (1-4) Kaspar Schulz, Bamberg (5) Apparatebau Nordhausen (6) BTE Brauereitechnik Essen

- ¿Cuán grande es el negocio cervecero esperado?
- ¿Cuántos asientos tiene el restaurante y cuántos de éstos estarán ocupados al mediodía/a la noche?
- ¿Qué facturación de cerveza se puede esperar diariamente – semanalmente – mensualmente – anualmente?
- ¿Cuántas veces por semana se debe cocer mosto?
- ¿Qué tamaño de recipientes resulta de esto?
- ¿Cómo puede ampliarse la sala de cocción?

Ejemplo: Con un equipo de cocción de 10 hl (volumen de bombeo 10 hl) se puede fabricar aproximadamente 8,5 hl de cerveza (alrededor de 15% de merma). Si en cinco días por semana se realiza un cocimiento por día y se cuece en 40 semanas al año (se pierden: 5 semanas por vacaciones, 3 semanas por enfermedad, 2 semanas por reparaciones), entonces se puede producir

$8{,}5 \cdot 40 \cdot 5 = 1700$ hl de cerveza por año.

Si se asume un consumo de cerveza (en 300 días con el local abierto) de 6 hl diarios, entonces esto equivale a:

$300 \cdot 6 = 1800$ hl de cerveza por año.

Con esto ya es obvio que el cálculo en el caso presente no cierra del todo y que tampoco se dispone de reservas.

Pero si se calcula un consumo de cerveza de sólo 4 hl diarios, entonces se necesitan

$300 \cdot 4 = 1200$ hl de cerveza por año,

con lo cual estaría cubierto el requerimiento y se tendría disponible una reserva abundante.

Si bien para una cervecería de pub es posible producir más de un cocimiento por día, esto, sin embargo, no es realizable indefinidamente por un cervecero solo. Pero es importante que el proceso de fabricación de cerveza se extienda hasta entrada la operación nocturna del restaurante, porque de esta manera se incrementa considerablemente el valor como atracción y la clientela puede participar directamente de la fabricación de cerveza.

En Alemania se calculan 10 hl anuales de cerveza por asiento de pub.

El cervecero de pub debe calcular primero detalladamente estos números básicos. De esto resultan luego las consideraciones básicas respecto del tamaño de los recipientes de cocción.

Se calcula con los siguientes valores aproximados (ver Sección 3.6.2) por cada 1 dt de carga:

- cuba de maceración y filtración 6 a 8 hl,
- paila de maceración y de mosto 8 a 9 hl.

De acuerdo con la tecnología de la fabricación de cerveza, la cervecería de pub también posee un área caliente (la sala de cocción) y un área fría (bodega de fermentación y maduración), las cuales deben ser separadas una de la otra de forma apropiada (Figura 8.2).

Los puntos a los cuales debería prestar atención el cervecero de pub, tanto en la planta como durante la operación, son:

Sala de cocción

Debido a las reducidas cantidades, la malta es suministrada en sacos. Los sacos deben ser almacenados en un lugar seco, dado que la malta es higroscópica y se humedece con el tiempo. En el caso de almacenamiento en silos, deberían preverse al menos dos silos y no deberían almacenarse partidas demasiado grandes.

Para posiciones más pequeñas debe haber una balanza.

Para la molienda, los cerveceros de pub utilizan usualmente un molino sencillo de dos rodillos, que se encuentra ubicado fuera de la sala de restaurante, pero en lo posible a la vista de todos. Durante la molienda debe prestarse atención a la formación de polvo y se debe evitar que éste llegue a los clientes.

El calentamiento de la paila ocurre de forma indirecta con vapor, que es generado

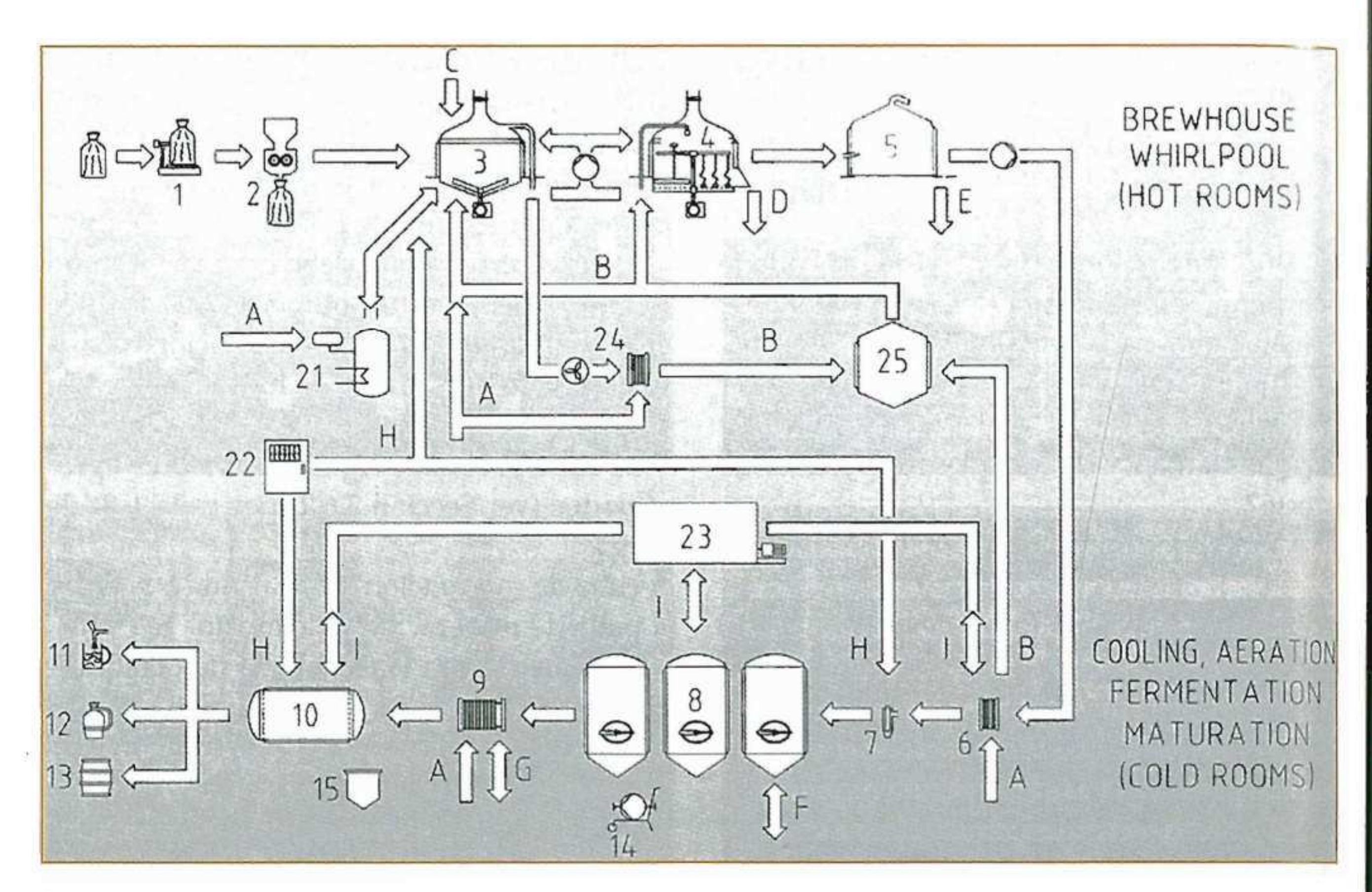


Figura 8.2
Diagrama de planta y de proceso de una cervecería de restaurante
(BTE Brauerei-Technik, Essen)
(1) balanza de malta, (2) molino de malta, (3) paila de maceración/de cocción, (4) cuba de filtración, (5) Whirlpool, (6) enfriador de mosto, (7) aireador de mosto, (8) tanques de fermentación y de reposo, (9) filtro de cerveza, (10) tanque de presión,
(11) expendio, (12) llenado de sifones, (13) envasado en barril, (14) bomba, (15) tanque de CIP,
(21) generador de vapor, (22) compresor de aire, (23) refrigerador para agua helada, (24) condensador de vahos, (25) tanque de agua caliente.
(A) agua fría, (B) agua caliente, (C) lúpulo, (D) heces, (E) trub, (F) levadura, (G) kieselgur, (H) aire comprimido, (I) agua helada

por medio de una caldera de baja presión. Otros tipos de calentamiento (combustión directa de gas o fueloil, o calentamiento eléctrico) son problemáticos, pero posibles. También es posible un calentamiento a través de un cocedero externo. Pero se debe calcular exactamente la superficie de calentamiento a fin de prevenir efectos negativos.

Se debe dar gran importancia a la condensación de vahos, en especial si el pub se encuentra en un área densamente poblada. Asimismo, una excesiva molestia por olores en la sala de restaurante puede ser desagradable. También es posible realizar una compresión de vahos, pero esto es muy caro.

La cuba de filtración debe poseer una buena aislación térmica para evitar un enfriamiento innecesario de las pequeñas cantidades. La filtración del mosto debería ser abierta, porque

- Con esa pequeña cantidad de por sí no se puede impedir un ingreso de oxígeno y
- el valor como atracción con una filtración abierta es incomparablemente mayor.

Se puede aumentar también el efecto como atracción, por ejemplo, por medio de una bomba manual para el bombeo de retorno del mosto turbio o con un manómetro de filtración (con explicación) colocado a la vista de todos. ¡No debe perderse de vista a lo largo de todo el año la descarga de las heces y su eliminación para desecho!

Como material de tuberías se usan tubos de acero inoxidable. Como válvulas se utilizan sobre todo las válvulas mariposa. El transporte se realiza por medio de bombas centrífugas de rodete abierto (hasta 60 hl/h) con una velocidad de circulación que no debería se mayor que 1,3 m/seg.

El Whirlpool se construye cerca de la paila si es que la paila misma no está conformada como paila Whirlpool y es utilizada como tal. El trub es extraído por rociado manual. El enfriamiento del mosto es realizado por medio de un enfriador de placas.

Los pellets de lúpulo o el extracto de lúpulo se guardan en un armario frigorífico. Asimismo debe planificarse el depósito para ingredientes especiales, tales como sal, cilantro, claveles, cáscaras de limón y de naranja, miel, etc. ¡Debe prestarse atención a las fechas de vencimiento, temperaturas de almacenamiento y a un posible deterioro!

Debe darse gran importancia a la automatización de la instalación. Básicamente se debe automatizar todo para aliviar al maestro cervecero. Pero todo lo que tenga un valor como atracción e ilustre el proceso de fabricación de cerveza debe ser conmutable a operación manual.

Bodega de fermentación y maduración

Lo más favorable es emplear cubas de fermentación abiertas, ubicadas detrás de vidrio, a los efectos de mostrar a los consumidores cómo ocurre la fermentación. En el caso de diferencias de altura se puede trabajar con espejos. Las cubas de fermentación deben ser adaptadas al tamaño del cocimiento. Debido al riesgo de contaminación se le debe dar preferencia a la refrigeración sin circulación. Los recipientes de fermentación tienen una refrigeración por camisa.

Se debe prestar especial atención a los recipientes de fermentación (refrigeración por camisa).

El reposo ocurre en tanques verticales con fondo toroesférico, eventualmente también en tanques cilindrocónicos de acero inoxidable (Figura 8.3). Se debería realizar el tendido de tuberías con tubos rígidos. En el caso de utilizar mangueras debe cuidarse de que sean de la mejor calidad. En instalaciones de tamaño menor es mejor efectuar la limpieza y la desinfección con soluciones desechables (sin recipientes de acumulación).



Figura 8.3
Bodega de fermentación y de maduración en una cervecería de pub
(Foto: BTE Brauerei-Technik, Essen)

La cerveza terminada de fermentar es bombeada sin filtrar a tanques de provisión enfriados a 0°C. Deben observarse exactamente las disposiciones locales de la autoridad impositiva en lo que respecta al registro

de la cantidad de cerveza vendida. ¡En caso contrario puede haber sorpresas desagradables!

Debería haber al menos 3 tanques de provisión, y más también, en el caso de ofrecerse más de un tipo de cerveza.

Para el cervecero de pub no es rentable tener una instalación propia de propagación de levadura. Él debería conseguir su levadura de una fábrica de cerveza de tamaño mayor. Luego de una parada en la fabricación de cerveza (mantenimiento, vacaciones, enfermedad), de por sí se debe conseguir levadura fresca de una fábrica de cerveza de tamaño mayor.

8

Equipamiento de expendio

En una cervecería de pub, la relación entre la fabricación de cerveza y el expendio es muy estrecha. El cervecero de pub está por ello interesado en ajustar la presión de saturación en el tanque de provisión de acuerdo con la temperatura de expendio y de bebida. La temperatura de bebida varía de país en país y es, por ejemplo:

- en Europa 6 a 8°C
- en América 0 a 4°C.

Como gas de impulsión se utiliza hoy en día preferentemente un gas mixto de CO_2/N_2, que puede ser adquirido en todos lados como mezcla o puede ser producido in situ.

Se sobreentiende que particularmente el equipo de expendio con el surtidor de cerveza debería tener una forma atractiva y que se deberían utilizar vasos propios, decorados y de forma especial, eventualmente también jarras especiales y sifones. ¡Sin embargo, debe considerarse también el factor costos!

La cerveza con sedimento natural tampoco elimina la necesidad de la limpieza diaria del equipo de expendio. En caso contrario, se forman muy pronto nidos de contaminaciones, que en este caso son difíciles de ver, pero que muy pronto causan sabor y olor desagradables. El operador del equipo de expendio es siempre responsable respecto del control del mismo.

Tipos de cerveza

La siguiente consideración es de importancia decisiva para el cervecero de pub: ¿Qué tipo de cerveza hay que fabricar, qué sabor debe tener, qué espera la clientela?

Ya de antemano no tiene sentido pretender hacerles la competencia a las grandes marcas; las grandes fábricas de cerveza tienen por supuesto posibilidades completamente diferentes para imponer su calidad. El cervecero de pub debe encontrar su propio nicho y fabricar sólo algunos pocos tipos propios de cerveza, que, sin embargo, sean característicos.

En el desarrollo de un tipo propio de cerveza debería partirse de las siguientes consideraciones:

- ¿Qué contenido de mosto original debe ser elegido? Éste determina luego también de forma amplia el contenido alcohólico de la cerveza. En general se detecta una tendencia hacia cervezas algo más ligeras con un contenido de mosto original de 10,5 a 12%. Las cervezas fabricadas más fuertes restringen el consumo más elevado debido a su menor digestibilidad.
- ¿Qué carácter debe darse a la cerveza? Es decir, ¿ la cerveza debe tener un sabor más fuerte o menos pronunciado? Según esto se rige entonces también
- el color de la cerveza, que puede ser mantenido claro, pasando por un tono medio hasta llegar a negro, pero que debe concordar con el carácter de la cerveza. En este contexto debe aclararse también si
- la cerveza debe tener más sabor a malta o más amargor de lúpulo, o si,
- a través del uso de aditivos, debe recibir una variante de sabor más aromática, que se aparte en mayor o menor grado totalmente de lo anterior. A tales aditivos pertenecen, por ejemplo:

- condimentos, tales como cilantro, sal de cocina, claveles, canela o
- frutas, tales como cerezas, arándanos o
- cáscaras secas de naranja y limón,
- hierbas, tales como albahaca, salvia, manzanilla y, en tiempos recientes, cada vez más, también
- miel.

La miel es producida por las abejas a partir de las más variadas flores de pradera. Es por ello que ésta contiene en forma abundante las substancias de sabor y las substancias aromáticas, que en general son volátiles, de estas plantas de pradera. Correspondiente-mente, las variedades de miel se diferencian mucho en lo referente a su calidad, según los lugares visitados por las abejas (ver al respecto Sección 7.3.3).

Otros aspectos que pueden influir en el desarrollo de un tipo de cerveza propio son:

- la utilización de una levadura de fermentación alta, en lugar de la levadura de fermentación baja, o
- la utilización de una levadura de posfermentación con un perfil aromático especial (por ejemplo, Brettanomyces), o
- la utilización de lactobacilos.

Una cerveza ácida puede ser deseable, pero si la acidificación se desarrolla de forma descontrolada, la cerveza pasa a ser imbebiblemente ácida. Es mejor en tales casos obtener cultivos de lactobacilos de un instituto y dejarlos actuar de forma controlada; para el consumo debe preverse en ese caso al menos una contraparte dulce. Es importante sobre todo que el menú de comidas esté ajustado a los tipos de cerveza.

Equipamiento de energía

El cervecero de pub necesita para la operación:

- un equipo de baja presión para la generación de vapor, eventualmente un evaporador flash, con
- un tanque de agua caliente,
- un equipo de agua fría con accionamiento eléctrico y refrigeración por glicol o, más simple,
- un acumulador de agua helada para la refrigeración del mosto y la cerveza, así como
- un compresor de aire para la aireación del mosto.

Dado que el equipamiento de energía cuesta mucho dinero tanto en la compra como en la operación, se debe prestar mucha atención al justificar su elección. En particular debe estar asegurada la provisión de agua caliente.

Respecto de las disposiciones legales

En ningún país es posible fabricar cerveza sin el conocimiento y la observancia de las disposiciones legales. Es por ello que uno debería ocuparse primeramente de las disposiciones y reglamentaciones legales. En la mayoría de los países éstas incluyen:

- una licencia para la fabricación de cerveza,
- disposiciones legales en materia de construcción para el establecimiento de una cervecería de pub,
- disposiciones legales en materia medioambiental,
- disposiciones impositivas, así como
- otras disposiciones legales que deben ser consultadas en este caso; por ejemplo, la legislación alimentaria, la legislación respecto de la higiene, la legislación del agua, así como
- la protección laboral y contra incendios.

Consultas respecto de variantes económicas

Ningún cervecero de pub construye o instala él mismo su planta. Por lo tanto depende de ofertas. Si el cervecero de pub no es adinerado –y esto es el caso usual–, deberá ahorrar dinero. ¿Cómo puede hacer esto? ¡Barato no es lo mismo que económico!

Las ventajas para el cervecero de pub son:

- no necesita filtrar y envasar su cerveza,
- no vende hacia afuera y no posee contratos

con los comercios.

Consecuentemente sólo resultan costos internos.

Debe prestarse mucha atención a:

- la financiación, el capital propio, el crédito, los intereses, la amortización, los plazos,
- los costos de material, de energía, los costos salariales y las cargas sociales; cuánto personal tiene el negocio, qué se puede pagar, qué está asegurado y qué no lo está; cuál es el límite tolerable,
- ganancia esperada, rentabilidad.

8

8.2 Microcerveceros

En contraste con el cervecero de pub, el microcervecero tiene menos preocupación en lo que respecta al valor como atracción de su fábrica de cerveza. Si bien ésta debe estar limpia y ser atractiva, no tiene a diario la clientela en la sala de cocción. Sin embargo, cuanto más grande es la microcervecería, tanto más rigen los comentarios hechos en los capítulos anteriores en lo referente a equipos y procesos.

Pero, en cualquier caso, el microcervecero necesita equipos de envasado, dado que no expende su cerveza directamente in situ. Naturalmente existen microcervecerías que simultáneamente operan un pub anexo. En esos casos, a veces los límites entre ambas definiciones son difusos.

El microcervecero requiere primeramente un equipo de envasado en kegs. Según la cantidad de cerveza en barril, el microcervecero utiliza un equipo con uno o varios cabezales llenadores. Si las condiciones lo permiten o lo hacen necesario, el microcervecero tiene también en operación un equipo de envasado en botellas, sifones o latas.

Dado que el microcervecero vende su cerveza fuera de su planta, debe filtrar y estabilizar la cerveza antes de que sea envasada. Por medio de etiquetado y publicidad apropiados, debe además llamar la atención respecto de los atributos de su producto, dado que no puede disponer de efectos de atracción directos, tal como sí los tiene el cervecero de pub. Pero también él debe imponerse en su nicho contra las grandes marcas, a través de la creación de un tipo propio de cerveza con particularidades que agraden a los consumidores, y debe convencer a su clientela de la calidad de su cerveza.

Por lo demás, vale también para el microcervecero todo lo que ha sido descripto en los Capítulos 3 a 5, aunque su equipamiento sea más pequeño.

8.3 Cerveceros aficionados

La cantidad de cerveceros aficionados y caseros ha aumentado considerablemente en los últimos años. Este movimiento fue apoyado por numerosos negocios que en algunos países suministran las materias primas necesarias para la fabricación de cerveza en paquetes preparados y que ofrecen junto con ello sus equipos y su asistencia para la fabricación del mosto y la fermentación en las instalaciones del negocio. De esta manera uno mismo puede fabricar su cerveza con un mínimo de gasto.

Otras personas, por otro lado, compran los ingredientes, pero prefieren trabajar en sus casas con los materiales adquiridos y preparar así su cerveza.

Un tercer grupo de personas no adquiriere extractos y materiales prefabricados. Estas personas se enorgullecen en preparar ellas mismas desde el comienzo una cerveza cualitativamente buena. Dado que el equipamiento es relativamente grande y costoso, tales cerveceros aficionados se juntan en grupos para la operación por turnos de una planta comprada y operada en conjunto para luego degustar los productos de forma recíproca. ¡Esto da gusto!

Para fabricar una buena cerveza –aun en pequeñas cantidades– se necesitan buenas materias primas.

Las materias primas para la fabricación de malta y de cerveza o únicamente para la fabri-

ca ión de cerveza pueden comprarse en negoci s especializados en las grandes ciudades:

- ebada o malta –diferentes variedades–,
- extracto de malta (para diluir el mosto),
- lúpulo en forma de extracto, pellets o conos de lúpulo,
- levadura de diferentes razas, guardada en frío y con un tiempo de conservación razonable, en parte como levadura seca.

Además: recipientes, cilindros de medición, densímetros y muchas cosas más.

Quien no conoce un negocio tal o no tiene uno a una distancia razonable debe buscar por sí mismo en los alrededores.

- Malta: se obtiene de una fábrica de cerveza o de una maltería. ¡O la produce uno mismo!
- Lúpulo: lo mejor es obtenerlo en forma de pellets envasados al vacío de una fábrica de cerveza o de un comerciante de lúpulo. Se debería tratar de obtener diferentes variedades en paquetes mínimos. ¡El lúpulo es muy importante para el aroma!
- Agua: aquí solamente se puede usar el agua de canilla. ¡Pero cuidado! En la mayoría de los casos, el agua está clorada, y esto causa en la cerveza un sabor desagradable a fenol. En esos casos es aconsejable intercalar un filtro de carbón activado o cocer previamente el agua.
- Levadura: aquí debemos solicitar una pequeña botella llena a la fábrica de cerveza, si es que no queremos utilizar levadura seca, cuya calidad no podemos examinar antes.

Y volviendo una vez más a la malta: la puede fabricar uno mismo; nosotros sabemos cómo se hace (ver Capítulo 2). Pero en la fabricación de cantidades tan pequeñas se presentan algunos problemas, como veremos enseguida.

Fabricación de la malta propia

¿Cuánta malta se necesita? Algo más que lo que requieren las fábricas grandes de cerveza, que naturalmente trabajan más racionalmente con aproximadamente 17 kg de malta por cada 1 hl de cerveza al 11%. Nosotros debemos calcular que necesitaremos aproximadamente 20 kg de malta para 1 hl de cerveza (11 a 12%).

Si deseamos fabricar un menor volumen, reducimos sencillamente la cantidad en forma proporcional.

Si queremos fabricar malta, necesitamos, sin embargo, aun más cebada, porque se pierde aproxiamdamente un quinto a un cuarto de la substancia en el malteado (ver Sección 2.7). Por lo tanto calculamos:

para 1 hl de cerveza, 25 kg de cebada
o una fracción de esta última.

El remojo puede ocurrir en un recipiente sencillo con fondo plano. Para ello calculamos una cantidad de agua que sea apenas menor que la mitad de la cantidad de cebada. Podemos calcular así de la siguiente manera:

25 kg de cebada (15% de agua)
contienen 3,75 kg de agua;
a esto agregamos
12 l de agua = 12,00 kg de agua.

Los 37 kg de cebada remojada que se forman contienen

15,75 kg de agua = 42,5%

Este es el grado de remojo deseado por nosotros. Por supuesto que el agua no es absorbida inmediatamente de forma completa, sino que al principio de manera bastante ávida y luego cada vez más lentamente. Es por ello que agregamos primeramente algo menos que la mitad de la cantidad de agua, es decir, aproximadamente 5 l. De vez en cuando mezclamos bien la cebada en remojo hasta que haya desaparecido el último resto de agua en el fondo. Luego agregamos el resto de agua en dos veces, en intervalos de 6 a 8 horas cada uno, sin olvidarnos de volver a llevar hacia arriba la cebada de más abajo.

Luego de aproximadamente dos días, la cebada ha absorbido suficiente agua para la germinación y pronto comienza lentamente con esta última, lo cual se puede ver bien (comparar con Sección 2.4.2). En los días sub-

siguientes debemos voltear meticulosamente la cebada en germinación –lo mejor es hacerlo a mano 2 a 3 veces por día– y, por medio de rociado, impedir que se seque. Vemos ahora cómo crecen las raicillas y se enredan lentamente entre sí. Si ahora no prestamos atención y nos olvidamos del volteo, y el montón se calienta demasiado, vamos a obtener muy pronto una mata afieltrada. Por este motivo, lo mejor es que el recipiente de germinación permanezca en un espacio fresco a 14 a 15°C. Nuestra cebada en germinación huele ahora notablemente a pepinos frescos.

Este proceso debe ser seguido muy de cerca, porque los procesos subsiguientes se desarrollan ahora muy rápidamente.

Cuando las raicillas han alcanzado una longitud equivalente a aproximadamente 1,5 veces la longitud de grano, la germinación debe ser interrumpida y se debe pasar al tostado. Esto último debe estar ahora bien preparado; de lo contrario habremos producido pronto un minicampo verde de cereales que terminará en el balde de residuos.

Sabemos (ver Sección 2.5.1) que el tostado es en primer lugar un problema de aireación: ¡Mucho aire caliente resulta en un buen secado! Debemos entonces tratar de forzar mucho aire caliente a través de la cebada en germinación (que ahora se llama malta verde). En este proceso, la temperatura del aire no debe superar los 50°C si no queremos correr el riesgo de producir malta vítrea. Recién cuando la malta está casi completamente seca, podemos aumentar la temperatura a 80°C. Realizar esto en el término de un día no es nada fácil.

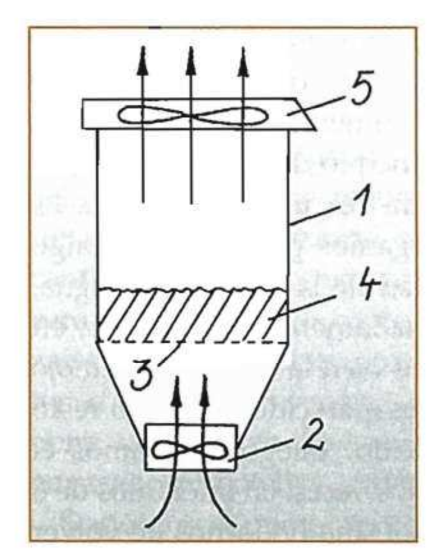


Figura 8.4
Tostadero de malta de construcción casera
(1) cajón de madera o de metal, (2) ventilador calefactor, (3) fondo tipo tamiz, (4) malta verde, (5) campana de extracción de vahos, sin filtro

Una posibilidad (Figura 8.4) consiste en construir un cajón (1) que esté cerrado abajo con un fondo tipo tamiz (3), sobre el cual se encuentra depositada la malta verde (4). Por medio de un ventilador se fuerza aire caliente a través de la "bandeja". En el caso más sencillo, esto puede ser realizado con un ventilador calefactor (2). Pero el aire sólo atraviesa la capa de malta que ofrece resistencia si el espacio que se encuentra debajo del fondo tipo tamiz es hermético. Es por ello altamente aconsejable que este recipiente esté construido ya de antemano de forma hermética. Además, la capa de malta no debe superar los 10 cm como máximo para que la resistencia no sea demasiado grande. A los efectos de superar la resistencia del aire y pasar la cantidad de aire necesaria a través de la capa de malta, se debería colocar sobre el recipiente una campana de extracción de vahos (5), la cual no debe tener filtro.

¿Qué cantidad de aire debe pasarse entonces a través de la malta? Esto depende de la altura que haya alcanzado entre tanto nuestra capa de malta. ¿Pero qué superficie se necesita entonces? La cebada tiene un peso por hl de 68 a 75 kg (ver Sección 1.1.5.2.3); pero calculemos 70 kg.

Cálculo:

Si	70 kg = 1,00 hl = 100 l,
entonces	25 kg = 0,36 hl = 36 l.

Para 36 l se requiere una superficie de 0,36 m^2 para una altura de 10 cm.

¡La capa de malta verde no debería exceder de los 10 cm de altura!

De los 25 kg de cebada se forma un volumen de: 36 l · 1,5 = 54 l de malta verde.

Con una altura de capa de 10 cm se necesita 0,54 m^2 de superficie de tostado; esto es una superficie de 0,75 m · 0,75 m.

Para el tostado de nuestros 25 kg de malta se requieren aproximadamente 150 m^3 de aire.

Si nuestro pequeño ventilador no es suficiente para el curado (3 horas a 80°C), este último paso deberá realizarse en un recipiente cerrado, por ejemplo, una olla con calentamiento amortiguado o un horno de cocina con recirculación de aire, a fin de no causar un sobrecalentamiento. Al final, esta malta debe estar completamente seca. En caso contrario, se deteriora al poco tiempo. La malta húmeda tampoco es fácil de triturar para el proceso de maceración.

Otra posibilidad de tostado consiste en secar la malta verde, colocada dentro de sacos de tela bien cerrados, en un secador de ropa (en el que sea posible ajustar la temperatura). Debido a la rotación del secador y a la gran cantidad de aire caliente, la cebada en germinación se seca bien (dependiendo del tipo constructivo de secador). Sin embargo, los pequeños sacos de tela deben ser de tamaño mucho mayor que lo requerido por el contenido a los efectos de que los granos cambien permanentemente de ubicación entre sí y disminuya unifomemente la distribución de humedad dentro de los pequeños sacos.

Para el curado vale lo dicho anteriormente.

Al final, las raicillas deben ser separadas por frotación y extraídas, porque no son útiles para el procesamiento ulterior y hasta son dañinas debido a su elevado contenido de proteínas.

Finalmente tenemos ahora una verdadera malta, que podemos utilizar para nuestro cocimiento.

Lo dicho para la malta tipo Pilsner vale de forma análoga para otros tipos de malta, los cuales también pueden ser producidos por uno mismo –pero más bien en cantidades menores–. El equipamiento estándar debería incluir, además de la malta tipo Pilsner, al menos malta caramelo y malta colorante (en el horno de cocina).

Un verdadero aficionado también trata de convertir alguna vez otros cereales –trigo, centeno, emmer u otros– en malta, aparte de la cebada. Se advierte muy rápidamente que cada tipo de cereal reacciona de manera diferente –¡Lo cual es un campo de actividad muy interesante!

Fabricación de cerveza

Antes de comenzar con la fabricación de cerveza, se deberían estudiar, como medida precautoria, las disposiciones impositivas vigentes al respecto en el país: en algunos países son muy reducidas las cantidades de cerveza que se permite fabricar libres de impuestos. En Alemania, por ejemplo, son 200 l por año. Pero aun esta cantidad debe ser declarada. Excederse de esas cantidades causa por lo general problemas con las autoridades impositivas o aduaneras.

Para la cerveza a fabricar es importante primeramente la composición de la carga de las distintas maltas (ver Sección 2.9.12).

Para la trituración de la malta usamos un molinillo de conos o un molinillo a golpes de la procesadora de cocina, o el molinillo de café. Pero no trituramos muy fino (ver Sección 3.1.2).

La siguiente consideración es cuán grande y diferenciado es nuestro despliegue de aparatos y qué equipamiento tenemos a nuestra disposición. En el caso más sencillo se realizará la maceración en las ollas de cocina. Se requiere aquí de inventiva si el dinero no alcanza.

La mezcla se realiza en la proporción:

1 kg de molienda de malta con 3 l de agua.

De este modo, con la subsecuente dilución durante el riego (ver Sección 3.3.1) y el enjuague por rociado de los recipientes, alcanzamos un contenido de mosto original de aproximadamente 12% luego de la cocción con el

lúpulo (ver Sección 3.4) en la paila de mosto.

Lo mejor es macerar por el proceso de infusión o por el proceso de maceración por adición de agua caliente, pero naturalmente también es posible cualquier otro proceso si los aparatos a nuestra disposición lo permiten. La mezcla se realiza a 58 a 60°C y, luego de un reposo de 30 min, se aumenta la temperatura a 63 a 64°C. Luego de un reposo de formación de maltosa de otros 30 min aumentamos lentamente la temperatura a 70 a 72°C y aguardamos hasta que se complete la sacarificación, la que examinamos con la tintura de yodo (ver Sección 3.2.1.3). Pero también se puede hacer la mezcla ya a 60 a 63°C y mantener esa temperatura durante 60 min antes de aumentarla a 70 a 72°C. Si el mosto tiene una reacción normal al yodo, aumentamos la temperatura a 75°C y lo filtramos. Para ello debemos utilizar un tamiz grande de malla fina y enjuagar las heces retenidas con no demasiada agua caliente.

Frecuentemente, la filtración del mosto causa problemas, porque no se dispone de un tamiz tal. Otro método probado consiste en lo siguiente:

Se coloca una silla sobre otra, de manera tal que sus cuatro patas estén hacia arriba. A cada una de las cuatro patas se ata un extremo de un paño permeable (lienzo grueso, tela de gasa). De esta manera se obtiene en la artesa formada una buena descarga de mosto y una buena retención de heces.

Dejamos que el mosto ingrese a nuestra "paila", que en el caso más sencillo consiste en una olla grande (en lo posible con un grifo de descarga), y lo cocemos durante una hora, en que adicionamos el lúpulo (ver Sección 3.4.3.2 y 7.2.1.1). En este proceso se evapora una gran cantidad de agua y se espesa el extracto, a lo que debe prestarse atención.

La cantidad de lúpulo a adicionar en el caso de nuestro pequeño cocimiento es, por supuesto, muy reducida y depende del tipo de cerveza (ver Sección 7.3). Si deseamos tener 25 unidades de amargor en nuestra cerveza (ver Sección 3.4.3.2.1), entonces debemos adicionar aproximadamente

25 IBU = 2,5 g/hl con un rendimiento del 30% = 7,5 g/hl de α-ácido.

Depende entonces de la cantidad de α-ácido contenida en la pequeña bolsa de plástico, pero esto se encuentra marcado generalmente sobre esta última.

Finalmente debemos separar el mosto del trub de cocción. Pero éste se deposita de forma limpia en el centro de nuestra olla si sometemos el contenido a rotación luego de finalizada la cocción (efecto Whirlpool, ver Sección 3.8.3.1). De este modo podemos extraer luego el mosto fácil y limpiamente a través del grifo lateral de la olla. Si no tenemos un grifo de descarga, la separación es obviamente más complicada.

Colocamos ahora el mosto en un recipiente, en el cual deberá ser fermentado, y lo dejamos enfriar. El recipiente debe ser lo suficientemente grande y debe tener una tapa suelta que cierre. En el caso más sencillo también sirve hasta un simple recipiente de residuos o también jarrones de leche. Ahora, por un lado, la cerveza en fermentación desarrolla abundante espuma con el dióxido de carbono formado. Pero, por otro lado, existe el riesgo de que ingresen microorganismos extraños a la cerveza y que puedan modificar su sabor. Es por ello que debería buscarse un recipiente de fermentación que pueda ser cerrado, el cual permita un escape del CO_2 a través de un dispositivo de cierre de fermentación, pero que, por otro lado, no permita el ingreso a los contaminantes. Además, un dispositivo de cierre de fermentación indica claramente cuándo finaliza la fermentación. Recipientes de este tipo son, por ejemplo, los balones de fermentación con dispositivo de cierre de fermentación, o mejor aún kegs para fiestas o contenedores de jarabe con una válvula correspondiente y posibilidad de expendio por medio de CO_2.

Cuando el mosto se ha enfriado a 6 a 8°C, adicionamos nuestra levadura y revolvemos una vez más intensamente. Con el final de la cocción comienza el problema bien grande: a partir de ahora pueden pasar a la cerveza microorganismos que no podemos eliminar y que pueden deteriorar totalmente nuestra cerveza. En todos lados hay lactobacilos y bacterias de ácido acético en abundancia, que pueden acidificar nuestra cerveza en un instante y convertirla de esta manera en imbebiblemente ácida. Es por esto que de ahora en adelante debemos hacer todo lo posible para que los microorganismos se mantengan alejados de nuestro mosto y de nuestra cerveza. Pero esto es muy difícil bajo las condiciones en que trabaja un cervecero aficionado.

Para la fermentación y la madurción colocamos nuestro recipiente de fermentación en un lugar que sea lo más frío posible (6 a 8°C) y dejamos que la cerveza fermente tranquila durante aproximadamente una semana. El final de la fermentación se manifiesta a través de una capa de espuma sucio-amarronada sobre la cerveza. Esta capa de espuma se puede quitar cuidadosamente con una espumadera que haya sido esterilizada por cocción. La cerveza todavía no tiene buen sabor, porque debe madurar primeramente. Pero esto lo realizamos después del envasado.

Dado que nadie quiere beber 50 ó 100 litros de una vez, todo tiene que ser envasado cuidadosamente en botellas. Para obtener un desarrollo de CO_2 a través de una posfermentación, y con ello presión en la botella, se adiciona una cucharadita de jarabe cocido de azúcar por cada botella. ¡Ésta debería ser la única adición de azúcar durante la fabricación, también por motivos cualitativos! Las botellas son taponadas con un tapón corona o, mejor, con un cierre de estribo o con un tapón a rosca, y durante una semana se realiza una posfermentación a aproximadamente 18°C. Luego se las guarda en un lugar fresco y la cerveza se consume lo más pronto posible.

Luego de este "cocimiento estándar" da mucho gusto ensayar las muchas posibilidades de composición de la molienda y de los posibles aditivos, tal como sucede en el caso del cervecero de pub. Aun cuando alguna vez una composición no tenga un sabor tan bueno, no se debería dejar caer los brazos y se debería seguir ensayando. Pero siempre hay que anotar lo que se utiliza y cuánto de esto; en caso contrario, no se podrá repetir el gran éxito.

¡A disfrutar al ensayar!

La mayoría de los cerveceros aficionados comienzan sus ensayos para fabricar cerveza en la cocina o en las inmediaciones de ésta. Ahí no falta mucho para que uno tenga problemas con la señora, porque continuamente se necesita algo: o es un cucharón o un colador, o una buena olla. Y después algunos utensilios tampoco son limpiados como se debiera. Las frases comienzan usualmente con las palabras: ¿Por casualidad tendrías ...?

Esto despierta en muchos cerveceros aficionados el deseo de tener un equipamiento algo mejor, siempre que estén dispuestos a invertir algo más de dinero en su hobby. Tales equipos se ofrecen hoy en día en las ferias cerveceras en casi todas las gamas de precios. Frecuentemente se juntan varios amigos para comprar un equipamiento que sea más grande o mejor, o más atractivo, para fabricar una cerveza que sea mejor aún o para disfrutar todavía más la fabricación de cerveza. Este desarrollo se ve hoy en día en todo el mundo.

La fabricación de cerveza finaliza también aquí con el reposo. La filtración y el envasado bajo exclusión de aire y condiciones asépticas serían demasiado laboriosos y caros en este formato pequeño. Si para la fiesta familiar no se desea sacar la cerveza directamente del recipiente dereposo, se la debería envasar en botellas en la forma previamente descripta y permitir que termine de fermentar allí, bajo adición de azúcar y desarrollo de CO_2.

9 Gestión de desechos y medio ambiente



Durante la fabricación de cerveza se forma una serie de substancias que deben ser eliminadas para desecho, evitadas o simplemente eliminadas. Se incluyen aquí especialmente:

- las aguas residuales con su carga de contaminantes,
- las heces de malta y de lúpulo,
- el trub,
- el excedente de levadura,
- los lodos de kieselgur,
- los residuos de etiquetas,
- los trozos de vidrio roto,
- los vahos y los olores provenientes de la sala de cocción,
- los gases de escape de la planta de calderas de vapor,
- el ruido generado en algunos lugares,
- el polvo de las materias primas,
- los residuos de materiales de embalaje,
  - las latas, las botellas de vidrio y de PET que han sido retornadas, etc.

9.1 Legislación medioambiental

Las épocas en que uno podía deshacerse de forma sencilla de estas cosas hace mucho que han pasado en la mayoría de los países. Hoy en día, un cúmulo de leyes se encarga de que estas substancias sean eliminadas para desecho de forma apropiada, siempre que no puedan ser evitadas de antemano.

Lo fundamental al respecto está regulado en las leyes referentes a la gestión de reciclado y eliminación de residuos de los países. El objetivo de la legislación medioambiental consiste en producir cada vez menos basura y residuos, y realizar finalmente la producción completamente sin basura y residuos, de manera tal que las substancias sean suministradas para un aprovechamiento repetido (recicladas).

También en los países que aún no poseen una legislación medioambiental se comprende de pronto que la contaminación creciente afecta a todos los órdenes de la vida y conduce finalmente a una parálisis de la vida en comunidad, que puede tener consecuencias peligrosas. Es por ello que la observancia de las disposiciones medioambientales también es de gran importancia para las fábricas de cerveza en todos los países.

En Alemania hay numerosas leyes medioambientales que tienen una importancia muy grande. Se incluyen en éstas especialmente:

- la Ley Federal de Protección contra Inmisiones con 21 reglamentos, entre los cuales están:
  - BImSchV (BImSchV = Disposición Federal de Protección contra Inmisiones) - Equipos de combustión VO
  - 4. BImSchV - Equipos que requieren homologación
  - 9. BImSchV - Procedimientos de homologación
  - 11. BImSchV - Disposición de Declaración de Emisiones
  - 12. BImSchV - Disposición sobre Accidentes y Averías
  - TA Luft (Directiva Técnica referente al Aire)
  - TA Lärm (Directiva Técnica referente al Ruido)
- la Ley de Responsabilidad Medioambiental,

- la Ley de Administración de Aguas con la
  - Disposición referente a la Procedencia de Aguas Residuales,
  - Disposición referente a Descargas Indirectas y la
  - Ordenanza de Administración de Aguas Residuales 1/11,
- la Ley de Impuestos sobre Aguas Residuales,
- la Ley de Residuos Sólidos con su
  - Disposición sobre Clasificación de Residuos,
  - Disposición sobre Clasificación de Desechos,
  - Disposición sobre Lodos de Clarificación,
  - Disposición sobre Aceites Usados,
  - Disposición sobre Embalajes,
  - Disposición sobre la Devolución de Embalajes de Plástico,
- la Ley de Economización de Energía,
- la Ley de Productos Químicos con la
  - Disposición sobre Substancias Peligrosas,
  - Disposición de Prohibición de PCB, PCT, VC,
  - Disposición de Prohibición de Hidrocarburos Clorofluorados, Disposición de Prohibición de Halon, etc.

No sin causa, la mayor parte de las leyes medioambientales se ocupan de las aguas residuales, que asimismo son el mayor motivo de preocupación.

9.2 Aguas residuales (aguas servidas)

Con excepción del agua que ha pasado directamente a la cerveza y a los productos secundarios, o que se ha evaporado, toda gota de agua termina en las aguas residuales.

Es por ello que se puede asumir que, salvo 1,8 a 2,5 hl de agua por cada 1 hl de cerveza, toda la cantidad de agua utilizada pasa a ser aguas residuales. En el caso de 6 hl de consumo de agua por cada 1 hl de cerveza, esto es 3,5 a 4,2 hl de aguas residuales/hl de cerveza; en el caso de un consumo menor de agua, la cantidad de aguas residuales será correspondientemente menor.

Durante su recorrido por la fábrica de cerveza, el agua ha absorbido o diluido muchas substancias. Las aguas residuales de la fábrica de cerveza contienen:

- restos de cerveza y de mosto,
- últimas aguas,
- aguas residuales que contienen trub,
- aguas residuales que contienen levadura,
- aguas residuales de las estaciones de CIP,
- lejía de desecho de las estaciones de CIP,
- ácido de las estaciones de CIP,
- lejía de desecho negra del filtro de PVPP,
- aguas residuales que contienen kieselgur,
- aguas de limpieza alcalinas,
- aguas residuales calientes y contaminadas,

y, en particular,

- la lejía de desecho de la máquina lavadora de botellas con
- substancias insolubles, tales como fibras de papel de las etiquetas, lodos y muchas substancias contaminantes,
- substancias solubles, tales como adhesivos, soda cáustica, sales metálicas,
- trazas de aceites y grasas de la lubricación de los equipos,
- restos de cerveza de botellas retornadas, barriles y kegs,
- cerveza rociada de las llenadoras.

También el lubricante de cinta de la cadena de placas termina finalmente en las aguas residuales; nada se pierde.

Estas substancias incrementan cada vez más la concentración de la contaminación en las aguas residuales. Si se multiplica esta concentración por su correpondiente cantidad de aguas residuales, se obtiene la carga de las aguas residuales.

Estas cargas de aguas residuales requieren grandes capacidades de plantas depuradoras y en la mayoría de los países originan costos regulares de limpieza en forma de mayores tasas de aguas residuales. Para ahorrar costos se requieren medidas para disminuir esta

carga de las aguas residuales, tales como medidas de retención y de reciclaje. Esta problemática cumple un papel cada vez más importante, en particular, en los países altamente industrializados.

9.2.1 Costos de aguas residuales

Los municipios y las asociaciones de tratamiento de aguas residuales están obligados por ley a realizar considerables inversiones en el tratamiento de las aguas residuales; además se deben gastar enormes sumas de dinero para el saneamiento de redes de canalización defectuosas. Los costos de estas medidas deben ser trasladados a los contribuyentes según cuadros de distribución establecidos por los municipios. Consecuentemente, continuarán aumentando dentro de un tiempo no muy lejano las tasas de aguas residuales, incluyendo los costos de canalización, que en parte alcanzan más de la mitad de los costos totales.

Las tasas adicionales para contaminadores de alto grado, entre los cuales se incluyen casi todas las fábricas de cerveza, incrementan aún más los costos de tratamiento de aguas residuales.

Todos los motivos mencionados aquí obligan a la fábrica de cerveza a considerar muy seriamente cómo se pueden reducir de forma substancial los costos de tratamiento de aguas residuales.

Se agrega a esto que determinadas substancias son consideradas particularmente dañinas para el medio ambiente y su descarga en las aguas públicas está sujeta a elevadas multas financieras.

▶ **Como particularmente dañinos se consideran:**

- *Todas las substancias oxidables*

Pueden ser degradadas, pero para ello se requiere mucho oxígeno. Si se las descarga sin procesar en el cauce de desagüe (arroyo, río), sólo pueden ser degradadas insuficientemente, debido a una aireación insuficiente, y pasan a la putrefacción con molestia por olores y eliminación de vida orgánica. La cantidad de substancias oxidables se indica en valores CSB (= demanda química de oxígeno = COD) en mg de O_2/l o valores BSB_5 (= demanda bioquímica de oxígeno = DBO) en mg O_2/l.

- *Fósforo en forma de fosfatos*

  Los compuestos de fósforo estimulan, junto con el nitrógeno, el crecimiento de algas en las aguas y se los cuenta entre las substancias dañinas. Es por ello que en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos para que los agentes de limpieza usuales estén libres de fosfatos.

- *Nitrógeno en forma de nitratos*

  El daño medioambiental ya fue puesto de relieve. Los nitratos que llegan al agua subterránea y a las aguas residuales contaminan progresivamente el suelo. (Aun así se debe utilizar, como siempre, ácido nítrico en la fábrica de cerveza a los efectos de eliminar la piedra de cerveza en el equipo de CIP.)

- *Compuestos orgánicos halogenados absorbibles (AOX)*

  En la Disposición referente a la Procedencia de Aguas Residuales se indica que, debido a la utilización de productos que contienen cloro, tales como lejía de cloro para blanquear o agentes de limpieza que contienen cloro, se forman substancias peligrosas según el § 7a de esta disposición. Es por ello que las autoridades encargadas de las aguas residuales se interesan especialmente por los compuestos AOX.

- También debe prestarse especial atención a las substancias peligrosas para el agua o peligrosas en sí, porque ponen en riesgo la salud. Éstas incluyen sales de metales, tales como mercurio, plomo, cadmio y cromo, pero también los compuestos AOX y los hidrocarburos halogenados. En el tratamiento de aguas residuales, estas substancias quedan en el agua o en el lodo de clarificación y se las debe evitar lo más posi-

le. También son substancias peligrosas los cidos, las lejías, los agentes de limpieza y le desinfección, para los cuales están especificados tanques de acumulación verificalos y –como en el caso del fueloil– piletas le recolección o tanques de doble pared.

Las siguientes substancias dañinas o grupos de substancias dañinas se valoran en Alemania con una unidad de deterioro para cada una:

Substancias dañinas o grupos de substancias dañinas valorados	A una unidad de deterioro corresponden las siguientes unidades de medida	Valores umbral según concentración y cantidad anual	
substancias oxidables, como demanda química de oxígeno	50 kg de oxígeno	20 mg/l cantidad anual 250 kg	
fósforo	3 kg	0,1 mg/l cantidad anual 15 kg	
nitrógeno	25 kg	5 mg/l cantidad anual 125 kg	
compuestos orgánicos halogenados absorbibles (AOX)	2 kg	100 mg/l cantidad anual 10 kg	
Metales y compuestos		Valor umbral para concentr.	Cantidad anual
– mercurio	20 g	1 µg/l	100 g
– cadmio	100 g	5 µg/l	500 g
– cromo	500 g	50 µg/l	2,5 kg
– níquel	500 g	50 µg/l	2,5 kg
– plomo	500 g	50 µg/l	2,5 kg
– cobre	1000 g	100 µg/l	5,0 kg
Toxicidad para peces			

Para entender esto, se debe aclarar primero la responsabilidad legal en la descarga de aguas residuales (Figura 9.1):

Existen dos grupos de descargadores de aguas residuales:

- *descargadores indirectos;* se trata aquí de empresas que descargan sus aguas residuales a través de la planta depuradora municipal, y
- *descargadores directos;* se trata aquí de empresas que, luego de tratar sus aguas residuales, las descargan directamente en aguas públicas, en el cauce de desagüe (arroyo, río).

El agua descargada en el cauce de desagüe está sujeta en Alemania a la Ley de Administración de Aguas; es decir, a una Ley Federal. Se incluye aquí también la Ley de Impuestos sobre Aguas Residuales con las exigencias mínimas mencionadas y las cargas impositivas según unidades de deterioro.

Sin embargo, antes que esto, rige la legislación municipal para la descarga en el cauce de desagüe. Las aguas residuales entregadas por la fábrica de cerveza A, como descargador indirecto, a la canalización municipal y a la planta depuradora grupal son clarificadas en la planta depuradora municipal, pero las substancias contaminantes contenidas son facturadas a la fábrica de cerveza.

Los municipios y las asociaciones para el tratamiento de las aguas residuales, que son los responsables de la operación de las plantas depuradoras municipales, establecen valores máximos por motivos de protección de la canalización y para que el proceso de clarificación en la planta depuradora se desarrolle sin problemas. Entre otros, éstos son, por ejemplo:

- temperaturas hasta 35°C,
- valores pH entre 6 y 9 (10).

Los municipios gravan con tasas adicionales los valores excedidos por los así llamados grandes contaminadores y las concentraciones en aguas residuales, que exceden en gran medida de las de las aguas residuales provenientes del uso doméstico. Así, por ejemplo, con un CSB por encima de 500 mg/l

hasta 1000 mg/l, la tasa adicional es 0,25 EUR/m³ de aguas residuales
hasta 3000 mg/l, la tasa adicional es 0,50 EUR/m³ de aguas residuales
por encima de 3000 mg/l, la tasa adicional es 0,75 EUR/m³ de aguas residuales.

Las aguas residuales son un asunto caro y amenazan con encarecerse cada vez más. Es por ello necesario considerar las posibilidades para mejorar la calidad de las aguas residuales, limitar su cantidad y con ello reducir los costos.

Para esto se deben explicar previamente algunos términos, que hasta ahora han sido usados de forma imprecisa.

9.2.2 Definiciones de términos utilizados en relación con las aguas residuales

Para definir las aguas residuales se emplean los siguientes términos:

- sólidos sedimentables,
- BSB_5,
- CSB,
- carga de aguas residuales,
- equivalente poblacional.

▶ *Sólidos sedimentables*

Por sólidos sedimentables se entienden aquellos que descienden al fondo, debido a su mayor densidad en comparación con las aguas residuales. Para ello se utilizan recipientes de sedimentación de Imhoff de 40 cm de altura y una capacidad de 1 litro, que rematan hacia abajo en forma de embudo, y se mide luego de un tiempo de sedimentación de 2 h.

▶ *BSB_5*

El BSB_5 es la demanda bioquímica de oxígeno de un agua residual; es decir, la cantidad consumida por bacterias en un período de 5 días a una temperatura de 20°C.

En la determinación del BSB_5 se comprueba primeramente el contenido de oxígeno momentáneo de la muestra de agua a examinar (8 a 9 mg de O_2/l). De una segunda muestra cerrada, guardada a 20°C se determina luego el contenido de oxígeno que queda después de 5 días. La diferencia en los contenidos de oxígeno es el BSB_5. Pero, puesto que rara vez un agua es tan limpia de manera tal que después de 5 días todavía contenga oxígeno diluido, se debe agregar a la muestra de aguas residuales una cantidad tal de agua

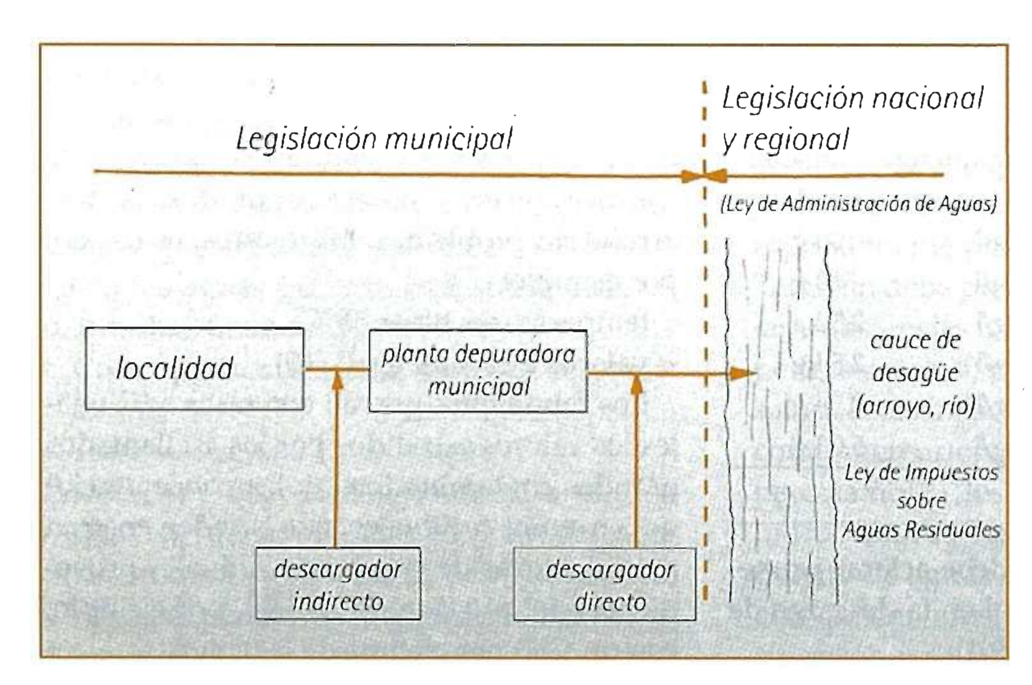


Figura 9.1 Descargadores directos y descargadores indirectos

pura y saturada de oxígeno que luego de 5 días queden como mínimo todavía 2 mg de O_2/l (método de dilución).

A continuación, algunos valores orientativos de concentraciones de BSB_5:

aguas residuales domésticas:	300 mg O_2/l
aguas residuales de fábricas de cerveza:	1200 mg O_2/l
descarga de planta depuradora:	20 mg O_2/l
última agua:	hasta 10.000 mg O_2/l
jugo de heces exprimidas:	hasta 15.000 mg O_2/l
cerveza:	hasta 80.000 mg O_2/l

▶ *CSB*

La demanda química de oxígeno (CSB) se determina por la reacción de agentes fuertes de oxidación con las substancias oxidables orgánicas y anorgánicas de un agua residual. Hasta ahora se utilizaba mayormente permanganato de potasio ($KMnO_4$) en solución ácida. El proceso permite que se lo realice rápida y fácilmente. En Alemania, la muestra se cuece durante 10 min. En Inglaterra es usual mantener la muestra durante 4 h a 27°C. Sin embargo, este método suministra valores que indican diferentes concentraciones en el caso de contaminación por diferentes substancias y por ello no es utilizable.

En lugar del método por $KMnO_4$ sirve otro método, en el que se emplea dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en solución sulfúrica. Con este método, las substancias orgánicas son oxidadas completamente según su demanada teórica de oxígeno. El tiempo de cocción necesario es de 2 h. Este procedimiento se ha impuesto como método de ensayo CSB estándar (en inglés: COD, chemical oxygen demand).

▶ *Carga de aguas residuales*

Por carga de aguas residuales se entiende el producto: cantidad de aguas residuales (en m^3) · concentración de BSB_5 (en g/m^3).

▶ *Equivalente poblacional*

El equivalente poblacional es un número proporcional con el que se expresa, a modo de comparación, qué cantidad de contaminación genera un habitante de una ciudad europea de tamaño mediano en 200 litros diarios de aguas residuales. Los siguientes valores son tomados como base para esto:

mg/l = g/m^3	minerales	orgánicos	total	BSB_5
sólidos sedimentables	20	30	50	20
sólidos no sedimentables en suspensión	5	10	15	10
substancias disueltas	75	50	125	30
total:	100	90	190	60 g/(h · d)

El equivalente poblacional es aproximadamente 60 g BSB_5 por habitante por día.

Sin embargo, esta definición varía de país en país.

9.2.3 Tratamiento de las aguas residuales

Las aguas residuales contienen muchas substancias que pueden ser degradadas por microorganismos. Pero para ello estos últimos necesitan oxígeno. Es por ello que las aguas residuales pueden ser limpiadas ampliamente por introducción de aire. En este proceso se forma lodo activado, donde se encuentran entremezclados microorganismos aerobios. Este proceso se denomina "tratamiento aeróbico del agua". Dado que el aire no llega por sí solo a las aguas residuales, se debe aplicar energía para introducirlo.

Si se trabaja sin aire, las aguas residuales son degradadas lentamente por bacterias de putrefacción. Se forman en esto primeramente ácidos orgánicos por hidrólisis y luego se genera biogas (metano) a través de la metanización. Esto se conoce como "trata-

miento anaeróbico del agua". En contraste con los procesos aeróbicos, el grado de degradación de la contaminación de las aguas residuales es menor, al igual que la cantidad de lodos excedentes. Pero en este proceso se produce biogas, a través de cuya combustión se puede generar energía.

Ambos procesos –tanto aeróbicos como anaeróbicos– son utilizados en la práctica. Las plantas modernas son frecuentemente plantas anaeróbicas con una etapa aeróbica instalada detrás.

9.2.3.1 Plantas de tratamiento aeróbico de aguas residuales

Existen muchas plantas diferentes de tratamiento aeróbico de aguas residuales, que pueden ser divididas en tres grupos:

1. Piletas y fosos de activación

Son grandes piletas de hasta 50 m de longitud y un nivel de agua de hasta por encima de 3 m, en las cuales las aguas residuales son abastecidas de oxígeno a través de dispositivos de aireación. Al mismo tiempo, estos aireadores se encargan de mantener la homogeneidad de las aguas residuales y evitan la sedimentación del lodo.

2. Reactores especiales

Son dispositivos en los cuales las aguas residuales son sometidas a una aireación intensiva; el lodo así formado es extraído a través de dispositivos especiales.

3. Reactores con biomasa inmovilizada

En el caso de estos reactores, la biomasa permanece constantemente en contacto con las aguas residuales y es abastecida unifor-

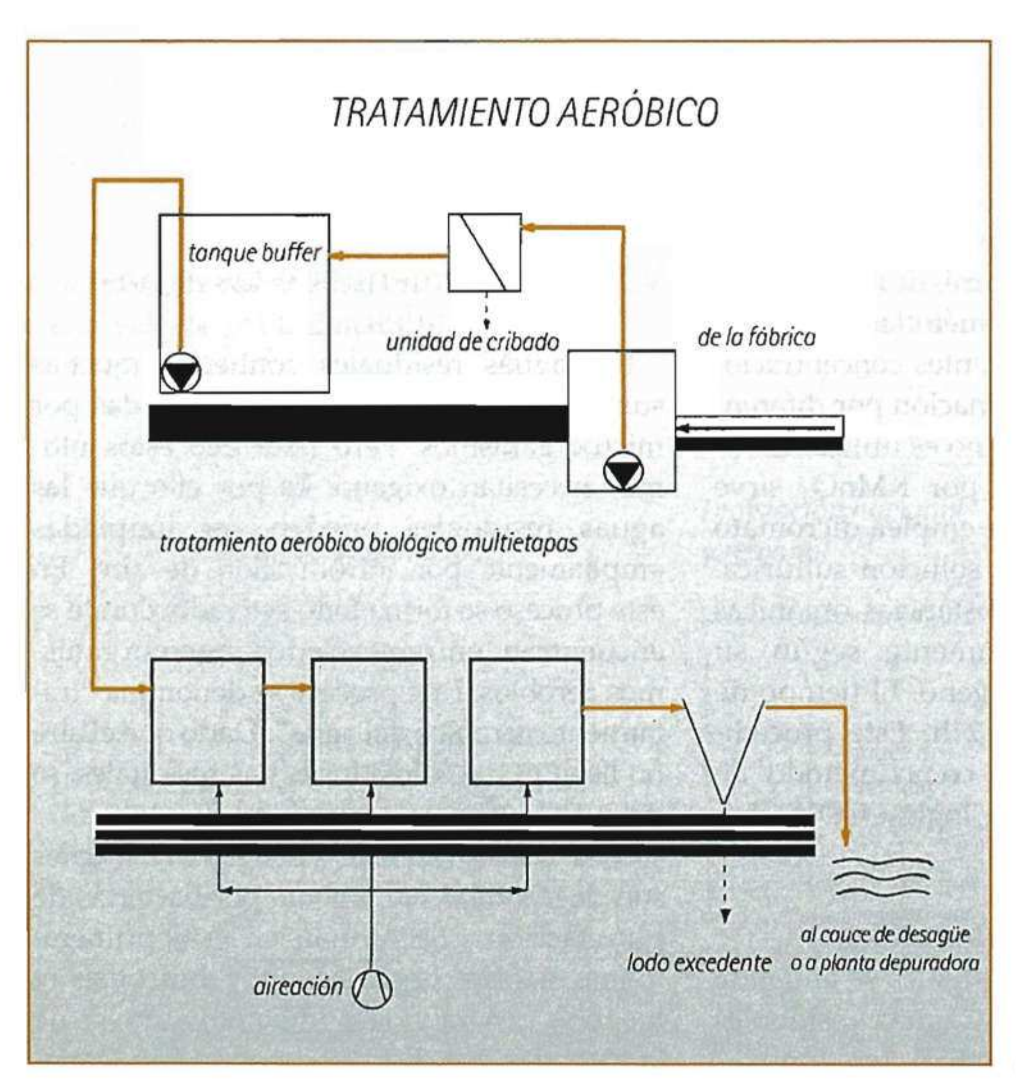


Figura 9.2
Proceso de tratamiento de agua aeróbico (principio)

m[illegible]mente de oxígeno. Un representante típico es el fermentador por discos rotativos:

Unos discos grandes y rugosos de plástico, de 2 a 3 m de diámetro se encuentran colocados sobre un eje horizontal y poco distanciados entre sí. Estos discos están sumergidos aproximadamente en un 40% en las aguas residuales y se mueven lentamente de forma mecánica. Sobre los discos crece la microflora aeróbica y las aguas residuales se degradan lentamente. Básicamente, los procesos aeróbicos son como se ilustra en la Figura 9.2.

9.2.3.2 Plantas de tratamiento anaeróbico de aguas residuales

La operación del proceso anaeróbico es utilizada desde hace muchos años exitosamente para aguas residuales altamente concentradas, provenientes de fábricas de azúcar, fábricas de celulosa, destilerías, etc. Este proceso ha pasado a ser nuevamente interesante para otras ramas de la industria, tales como las fábricas de cerveza, porque aquí se puede obtener energía en forma de gas metano combustible. En este caso tampoco se necesita energía para la operación del dispositivo aireador: justo para esto último es necesaria mucha energía en el caso de la operación del proceso aeróbico.

Las plantas de tratamiento anaeróbico están compuestas generalmente por grandes tanques de fermentación cilíndricos o cilindrocónicos, en los cuales se desarrollan los procesos de fermentación a temperatura constante. El proceso se descompone en varias etapas (Figura 9.3), al final de las cua-

9

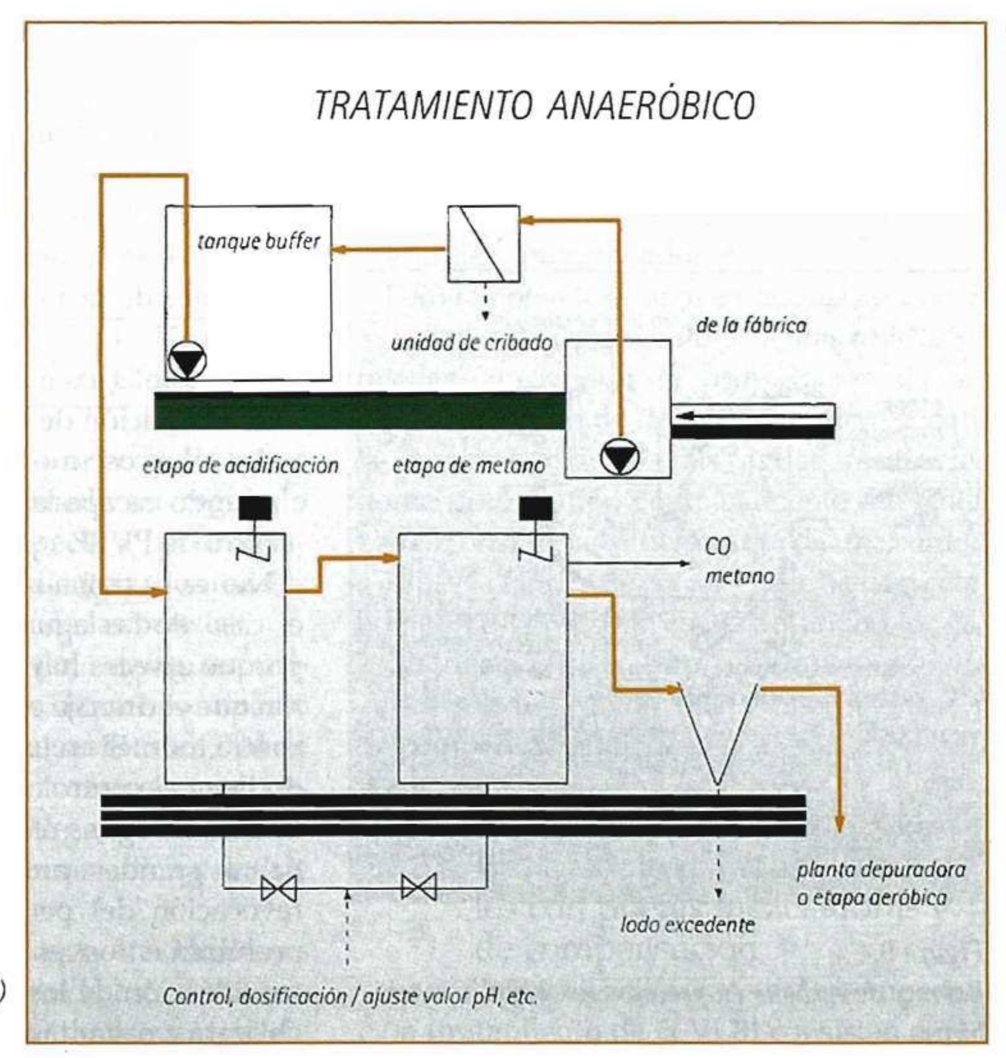


Figura 9.3
Proceso de tratamiento de agua anaeróbico (principio)

les se obtiene principalmente metano (biogas). El proceso requiere una alimentación uniforme y es muy exigente con respecto al personal, dado que las bacterias que trabajan de forma anaeróbica son gourmets muy sensibles con muy altas exigencias al medio que las rodea.

El balance de carbono en el proceso anaeróbico se diferencia mucho del balance de carbono en el proceso aeróbico (Figura 9.4):

carbono en el CO_2 ~ 50%
carbono orgánico en las aguas residuales 100%
carbono en el lodo de clarificación ~ 50%
carbono residual en la descarga ~ 1%

Balance de carbono en el proceso aeróbico de lodo activado

carbono en el biogas 90 - 95%
carbono orgánico en las aguas residuales 100%
carbono residual orgánico en el lodo excedente 1 ~ 5%
carbono residual orgánico en las aguas residuales tratadas 1 ~ 5%

Balance de carbono en la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos

Figura 9.4
Balance de carbono en procesos aeróbicos y anaeróbicos

mientras que en el proceso aeróbico, alrededor del 50% pasa al lodo de clarificación y alrededor del 50% escapa en forma de CO_2, se obtiene en el proceso anaeróbico más del 90% como metano y puede ser utilizado para propósitos energéticos.

Para el tratamiento de las aguas residuales en la fábrica de cerveza se utilizan hoy en día cada vez más plantas anaeróbicas con una etapa aeróbica intercalada detrás.

Pero, para el tratamiento de las aguas residuales de la fábrica de cerveza también es particularmente importante otro aspecto:

9.2.3.3 Cantidad y composición de las aguas residuales en la fábrica de cerveza

Las aguas residuales en la fábrica de cerveza no se producen uniformemente según cantidad y composición. Hay horas pico en determinados días y flujos reducidos durante la noche y el fin de semana. A veces, las aguas residuales son:

- muy alcalinas y calientes, por ejemplo, cuando se evacuan los baños de agua caliente de la máquina lavadora de botellas, o
- muy ácidas, cuando se evacua ácido usado de la estación de CIP, o
- de color oscuro y fuertemente alcalinas, cuando escapa la lejía de regeneración del filtro de PVPP.

Nunca se está a resguardo de sorpresas en el caso de las aguas residuales, sobre todo porque a veces hay empleados que consideran que el drenaje en el piso es la última cura contra todo. Si en un momento tan inadecuado llega el control de la asociación de tratamiento de aguas residuales, inevitablemente habrá grandes problemas. A través de la revocación del permiso de descarga, se le prohibirá entonces a la fábrica de cerveza la coutilización de los desagües públicos. Se la obligará a pagar tasas adicionales de grandes

contaminadores e indemnización por daños y perjuicios, y la municipalidad tiene derecho a exigirlas.

Pero no sólo las grandes cantidades de lejía de desecho o ácido usado, que son descargados de vez en cuando, son los que perturban la limpieza del lugar y sencillamente son quitados por enjuague. Esto también sucede con los pequeños residuos continuos de fondos de tanque, de trub, de heces o de kieselgur. También pueden ser los residuos que permanentemente se producen en la sala de embotellamiento; por ejemplo [83]:

llegan a las aguas residuales	con una carga de aguas residuales de g de CSB/hl de cerveza
cerveza proveniente de rociado 0,96 ml/botella	= 23
residuo de cerveza 1,6-2,6 ml/botella	= 38,4 - 62,4
extracto de las etiquetas 25-37,5 mg de CSB/botella	= 5 - 7,5
adhesivo de etiquetas	= 6
suma parcial	= 72,4 - 128,9 g de CSB/hl

Esto es un flujo continuo de carga de aguas residuales, que casi no puede ser regulado justamente en lo que respecta a las cantidades de residuos de la clientela, los cuales salen durante la limpieza de las botellas.

Ya solamente con este flujo de aguas residuales es difícil mantener o estar por debajo de un valor orientativo a alcanzar de 4,0 hl de aguas residuales/hl de cerveza con una concentración máxima de 600 g de CSB/hl a los efectos de ahorrarse las tasas adicionales de grandes contaminadores.

La clarificación de las aguas residuales es más cara que evitar producir estas últimas. Desde este punto de vista, la prevención de producción de aguas residuales adquiere primeramente una importancia especial. Esto debería ser un asunto a ser considerado en la fábrica de cerveza.

El tratamiento de las aguas residuales tiene una importancia particular. Una posibilidad de tratamiento de aguas residuales consiste en emplear una pileta aireada de mezcla o compensación, con una capacidad de compensación diaria o semanal, y acumular y equilibrar en ésta las aguas residuales y, dado el caso, también neutralizarlas.

Ventajas:

- las aguas residuales ácidas y las alcalinas se neutralizan mutuamente y previenen así un valor pH demasiado alto,
- se compensan las diferencias de temperatura y no hay excesos de temperatura,
- las reacciones extremas de colorantes son ampliamente decoloradas,
- las cantidades de aguas residuales pueden ser reguladas y distribuidas a lo largo de las horas nocturnas o el fin de semana,
- debido a la disminución de la carga de las aguas residuales, no hay tasa adicional de grandes contaminadores.

Pero también hay casos en que las asociaciones locales de tratamiento de aguas residuales pueden aprovechar la composición de las aguas residuales de la fábrica de cerveza para la compensación de las aguas residuales domésticas de tipo completamente diferente. Las circunstancias difieren aquí de una ciudad a otra, y la fábrica de cerveza hace bien en colaborar en esta cuestión con la autoridad local.

En relación con esto, el tratamiento de aguas residuales con piletas mezcladoras y de compensación tiene una importancia particular [80].

9.2.3.4 Tratamiento de aguas residuales con piletas mezcladoras y de compensación

Las piletas mezcladoras y de compensación (tratamiento de la VLB) consisten en:

- una pileta circular tipo silo,
- un aireador por inmersión para aireación y mezcla,
- un equipo de control para el desarrollo de la aireación y del proceso, y
- una regulación del drenaje.

En esto se distingue entre dos tipos básicos:

▶ *Tipo A* – Plantas sin retención de la biomasa, que aquí es extraída por arrastre con las aguas residuales. Para fábricas de cerveza con aguas residuales no tan fuertemente contaminadas existen

- pequeñas piletas con capacidad para compensación diaria y
- piletas grandes con capacidad para compensación semanal.

▶ *Tipo B* – Plantas con retención de la biomasa como

- piletas con capacidad para compensación diaria o como
- piletas con capacidad para compensación semanal.

Con el tipo B2 con piletas con capacidad para compensación semanal se logra

- una degradación biológica del 90 al 95%,
- una neutralización confiable de todas las cargas de contaminación y
- aguas residuales purificadas uniformemente.

La pileta de compensación Tipo B2 trabaja en cuatro fases (Figura 9.5):

▶ ***Fase 1:***

posición inicial – la pileta contiene únicamente la capa de biomasa de aproximadamente 1,5 m de altura; este estado ocurre como muy temprano el domingo por la noche.

▶ ***Fase 2:***

equilibrio, neutralización y degradación biológica – el lunes, con el comienzo de la jornada laboral, las aguas residuales de producción ingresan fluyendo a la pileta. Ésta se llena lentamente y el aireador opera ahora en intervalos, adaptándose al consumo de oxígeno. Se produce ahora la degradación biológica de las substancias orgánicas con

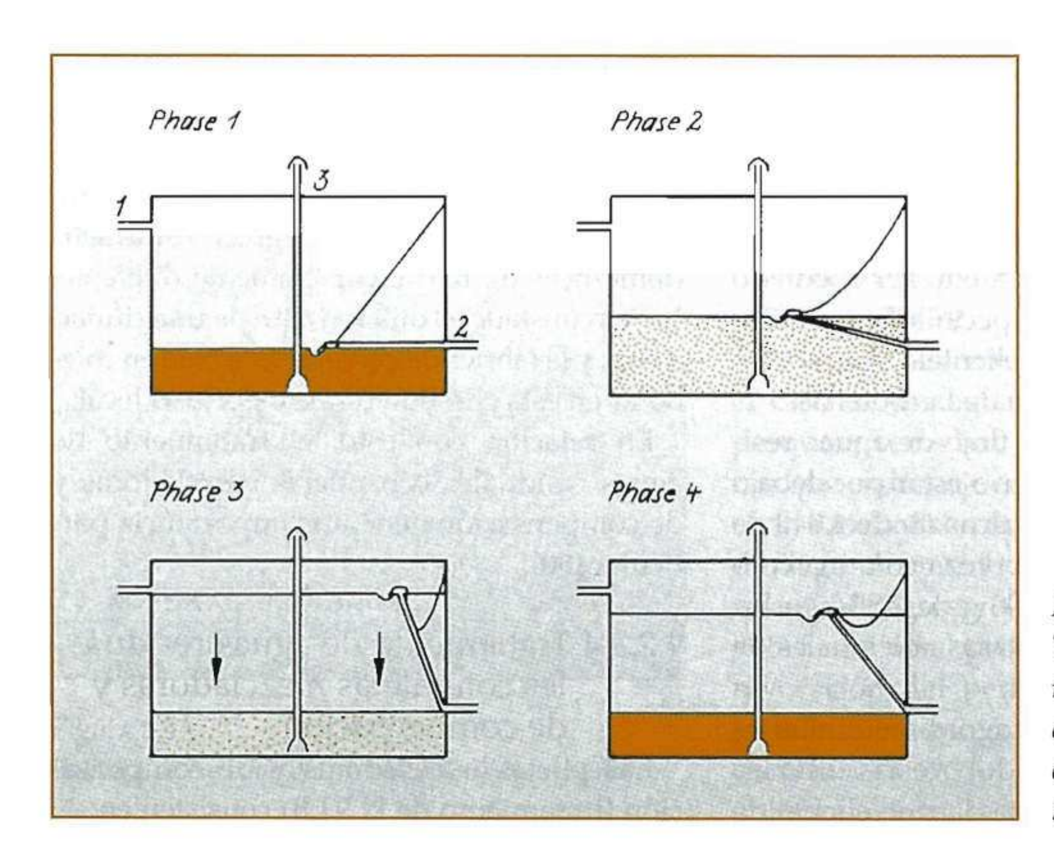


Figura 9.5
Tratamiento de aguas residuales con pileta mezcladora y de compensación de la VLB, según Schumann

f rmación del dióxido de carbono requerido p ıra la neutralización.

▶ F ıse 3:

s dimentación - la biomasa se separa y s dimenta, en tanto que las aguas residuales purificadas se acumulan encima.

▶ F ıse 4:

Las aguas residuales purificadas y libres de sedimentos son evacuadas. Para la evacuación se utiliza un dispositivo de flotador a fin de obtener siempre de la parte superior el agua más limpia.

Las fases 3 y 4 ocurren con cualquier partida de evacuación. De esta última hay varias por día. Bajo determinadas condiciones, la cantidad de lodo en la pileta aumenta sólo muy levemente; luego de pausas de producción hasta se degrada lodo viejo a través de autolisis y respiración endógena. Las substancias anorgánicas formadas durante la degradación salen de la pileta como substancias disueltas que ya no pueden sedimentar. No es necesaria una extracción de lodo debida a una producción de lodo excedente.

En los próximos años, el tratamiento de las aguas residuales va a imponer exigencias aún mayores a las fábricas de cerveza, debido a costos continuamente crecientes de las aguas residuales.

9.3 Residuos y desechos

Sin embargo, no se trata solamente de las aguas residuales, sino que se deben eliminar para desecho otros residuos de las fábricas de cerveza. Se puede asumir que se producen las siguientes cantidades de residuos [100]:

Tipo de residuo	kg/hl de cerveza para venta	producido en Alemania (1991) en 1000 t
heces de malta y de lúpulo	18,86	2225
levadura de desecho	2,64	311
trub caliente	1,42	168
trub frío	0,22	26
lodo de kieselgur	0,62	73
polvo de malta	0,12	14
etiquetas/papel	0,29	34
material de embalaje	0,04	5

Estas son cantidades considerables de residuos y de desechos que deben ser eliminadas en cualquier fábrica de cerveza. Hoy en día, muchas fábricas de cerveza logran todavía deshacerse de algunos de estos residuos de forma relativamente barata. Pero los costos crecientes llevarán cada vez más a las empresas a degradar estos residuos por sí mismas. En esto, los procesos de degradación anaeróbicos cumplen un papel cada vez más importante.

9.3.1 Heces de malta y de lúpulo

Por cada 1 dt de carga se producen aproximadamente 110 a 130 kg de heces con un contenido de agua de 70 a 80% o alrededor de 20 kg de heces/hl de cerveza para venta (ver Sección 3.3.5).

Por lo tanto se puede calcular que se producen anualmente aproximadamente 200 t de heces por cada 10000 hl de cerveza para venta (= 4 t/semana).

Se está muy interesado en vender estas heces como forraje. En muchas regiones, esto ha probado ser bastante exitoso, porque las heces son un alimento adicional valioso. Pero también hay regiones en las cuales los ganaderos no tienen necesidad de ello o en las cuales no hay agricultura.

Sobre todo en verano, los ganaderos no están dispuestos a recibir heces. Secar las heces –y hacerlas con ello conservables– sólo tiene sentido si se las puede vender a un precio 4 a 5 veces tan caro. Y eso es entonces aun más dudoso.

En contraste con ello, las heces de lúpulo ya no son hoy en día un tema importante. El lúpulo natural ya casi no se utiliza. Ya casi no existe fábrica alguna de cerveza con cedazo de lúpulo, ya sólo debido al trabajo y a las pérdidas que involucra esto. Si se usa lúpulo natural, entonces éste es triturado y forma parte del trub.

Las latas y los sacos de plástico, en que se suministraron el extracto o los pellets, terminan en los desechos y en parte son reciclados.

9

9.3.2 Trub

El trub se forma en el Whirlpool como cono de trub y más raramente como material de descarga de la separadora centrífuga o de la de sedimentación. En cualquier caso, el trub aún contiene mosto, que se puede recuperar. La mayoría de las fábricas de cerveza bombea el mosto de trub a la cuba de filtración para usarlo en el riego a los efectos de recuperar este mosto y simultáneamente convertir el trub rico en proteínas para una aplicación útil, dado que éste tiene un valor nutritivo para el ganado. Quien no desea tener este mosto de trub de calidad menor en la paila de mosto agrega el trub directamente a las heces.

9.3.3 Levadura de desecho

La levadura cosechada se produce en gran cantidad como levadura de desecho. La levadura de fondos de tanque tiene un valor CSB de 0,53 kg/hl y pertenece con ello a los consumidores muy fuertes de oxígeno. Es por ello que bajo ninguna circunstancia la levadura debe llegar a las aguas residuales, dado que allí pasaría pronto a la putrefacción.

Se puede calcular que se deben desechar anualmente aproximadamente 15 a 18 t de levadura de desecho por cada 10000 hl de cerveza para venta.

La solución más favorable consiste naturalmente en vender la levadura rica en proteínas y vitaminas como alimento para ganado. Pero, para la conservación, debe ser sometida pronto a la acción del vapor, porque, si no, comienza a fermentar en el estómago de los animales y les causa cólicos graves. Además, la levadura pasa rápido a la autolisis, en que los gases producidos son muy desagradables.

La levadura es secada y adicionada al pasto mixto. Otra posibilidad de aplicación está dada en la industria farmacéutica en la recuperación de vitaminas.

9.3.4 Lodo de kieselgur

Se puede asumir que se producen aproximadamente 500 g de lodo de kieselgur por cada 1 hl de cerveza. Es por ello que se puede calcular con 5 t de lodo de kieselgur por cada 10000 hl de cerveza para venta.

Un posible reprocesamiento del kieselgur es muy laborioso y caro en comparación con una descarga no permitida en el canal de aguas residuales. En el proceso Tremonis con tratamiento térmico del lodo de kieselgur, los costos son inevitablemente altos [54]. Sin embargo, el kieselgur puede ser reutilizado de esta manera hasta en un 50% y reduce el requerimiento de kieselgur nuevo.

Muchas fábricas de cerveza sólo pueden eliminar el kieselgur para desecho a través de un vertedero de basura. Muchos vertederos de basura exigen que el kieselgur sea suministrado en forma pastosa y pobre en agua a los efectos de prevenir un deslizamiento del montón. Con el tiempo, el kieselgur puede endurecerse en la pileta de sedimentación y en la tubería de aguas residuales de manera tal que el sedimento se deposita como cemento y es entonces muy difícil de remover.

Por este motivo y debido a los crecientes costos de eliminación para desecho se debe tratar de eliminar el kieselgur de una forma más económica. Una posibilidad es la compresión del lodo de kieselgur hasta lograr un contenido de agua por debajo del 50% para obtener una estructura granulable. Como dispositivos de compresión de kieselgur son apropiados los filtros de banda (Figura 9.6) o

los filtros prensa de varias cámaras [141]. El kieselgur con estructura granulable puede ser distribuido sobre el campo por los agricultores a través de dispositivos de dispersión [103]. Con las células de levadura que contiene, el kieselgur usado es un acondicionador de suelos y nutriente para plantas rico en nitrógeno y valioso para la agricultura. Aparte de ello, ayuda considerablemente a la capacidad de retención de agua de suelos arenosos sin que sea afectada el agua subterránea.

El kieselgur usado contiene levadura, que prontamente comienza con la autolisis. En este proceso se descomponen también las proteínas contenidas y se libera amoníaco de olor intenso, el cual, al cabo de poco tiempo, se hace notar de forma desagradable. Esto debe ser tenido en cuenta ante un necesario almacenamiento temporario del kieselgur.

Últimamente se está considerando la coutilización de kieselgur usado para la fabricación de ladrillos, asfalto u hormigón [88].

Debido a los elevados costos existe interés en encontrar posibilidades más económicas en la filtración de cerveza para reemplazar el kieselgur.

9.3.5 Etiquetas usadas

En la máquina lavadora de botellas se producen anualmente aproximadamente 1,5 t de etiquetas usadas por cada 10.000 hl de cerveza en botellas retornables. Estas etiquetas usadas deben ser eliminadas para desecho. Sin embargo, la porción mencionada antes también puede ser mayor, dependiendo esto del tamaño de las etiquetas y la cantidad utilizada de las mismas.

Se espera de las etiquetas que se despren-

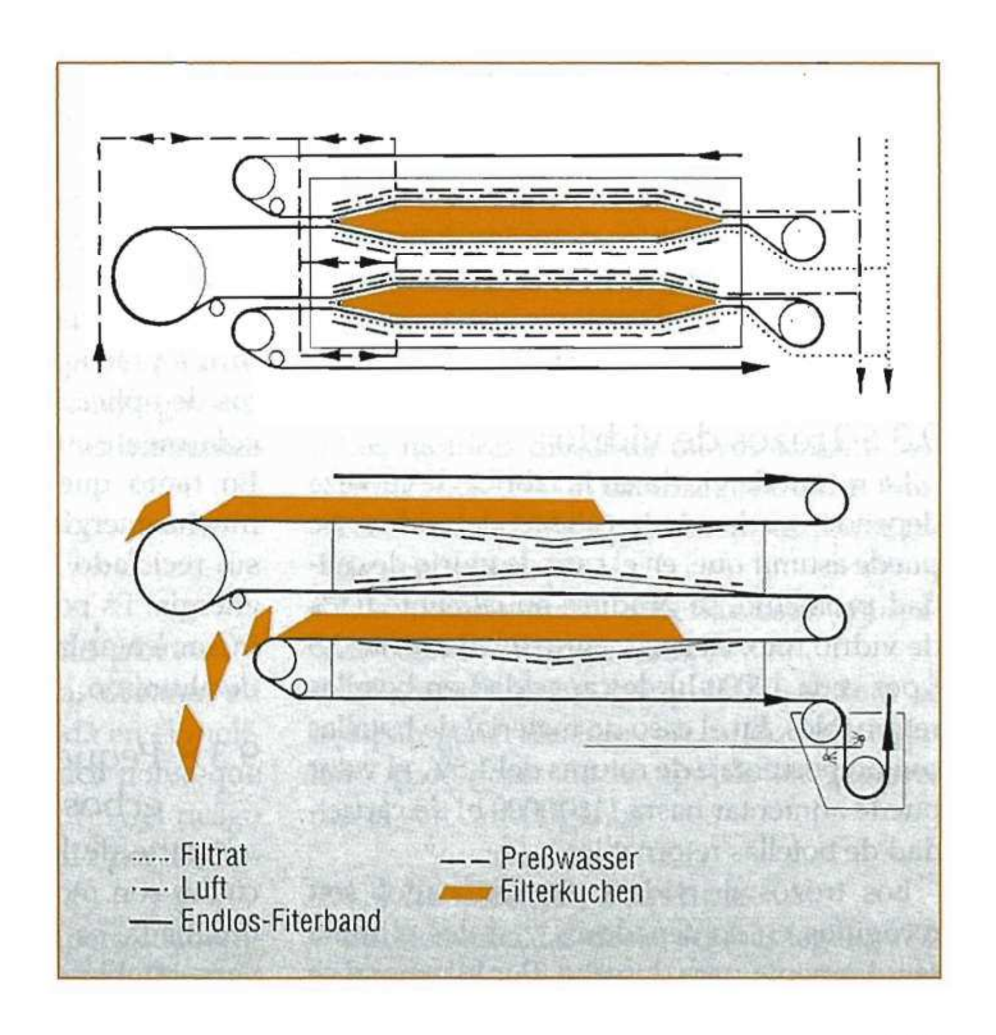


Figura 9.6
Compresión del kieselgur por medio de filtro de banda
(a) compresión por membrana
(b) extracción de la torta

dan de una pieza y que no se separen en fibras. Para la separación de las láminas de aluminio en la máquina lavadora de botellas se requieren una mayor concentración de lejía y preparaciones más frecuentes de esta última. Además, las láminas de aluminio pueden causar explosiones de gas detonante durante la limpieza de botellas.

En la máquina lavadora de botellas, las etiquetas son tamizadas y luego comprimidas porque todavía contienen una buena cantidad de lejía.

La eliminación para desecho de las etiquetas usadas es problemática porque el proceso de reciclaje requiere mucha energía y se obtiene un muy bajo rendimiento en fibras de papel aprovechables. Es por ello que la mayoría de las etiquetas usdas termina en el vertedero de basura.

Una eliminación para desecho también es problemática porque siempre hay restos de botellas y tapones corona entre las etiquetas, los cuales causan fácilmente deterioros en los molinos trituradores. Estos restos de botellas y tapones corona deben ser extraídos antes de un procesamiento.

En tiempos recientes pareciera haber una posibilidad de empleo de las etiquetas usadas como material de autopirogenación en la fabricación de ladrillos [88].

9.3.6 Trozos de vidrio

La rotura de vidrio en la fábrica de cerveza depende mucho de la calidad del vidrio. Se puede asumir que, en el caso de vidrio de calidad promedio, se produce anualmente 0,5% de vidrio roto, es decir, aproximadamente 3,5 t por cada 10000 hl de capacidad en botellas retornables. En el caso de material de botellas con un porcentaje de roturas del 1,5%, el valor puede aumentar hasta 11t/10000 hl de capacidad de botellas retornables.

Los trozos de vidrio ya clasificados son recogidos en contenedores y se los elimina regularmente para desecho. Por lo general se los retorna a la vidriería para reprocesar el vidrio.

9.3.7 Latas de cerveza

Las latas de cerveza vacías son muy sensibles a los golpes debido a su pared extremadamente delgada. Es por ello que se debe asumir que aproximadamente 3 a 4% de las latas no pueden ser llenadas y son desechadas. Por eso se debe calcular en la fábrica de cerveza un desecho anual de latas de aproximadamente 380 a 400 kg por cada 10.000 hl de capacidad en latas de acero; en el caso de utilizar latas de aluminio, ese valor se divide por dos.

Las latas son comprimidas y suministradas al reciclaje.

En algunos países, con la porción creciente de cerveza en lata, se producen problemas en la eliminación para desecho, dado que algunas personas dejan en lugares públicos las latas junto a otros desperdicios, tales como embalajes, papel y botellas. Pero en algunos países se ha logrado recoger latas vacías de forma apropiada, comprimirlas y suministrarlas al reciclaje.

El reciclaje es posible tanto para latas de acero como de aluminio. El aluminio es el único material que puede ser reciclado de forma prácticamente ilimitada para productos de aplicación similar y es por ello particularmente amigable con el medio ambiente. En tanto que el aluminio nuevo requiere mucha energía eléctrica para su producción, su reciclado requiere relativamente poca energía. Es por ello que se debería tratar de incrementar la cuota de reciclado de las latas de aluminio.

9.3.8 Pequeñas cantidades de desechos

Aparte de los desechos mencionados, los cuales son recogidos y eliminados en forma ordenada, se producen en la fábrica de cerveza también pequeñas cantidades de des-

ecl os, que con el tiempo se van acumulando. Se ncluyen aquí, por ejemplo:

- c rtón y cartonajes,
- desechos de papel de la administración y la producción,
- láminas y desechos de plástico,
- desechos de madera,
- chatarra de diferentes metales,
- neumáticos desgastados,
- baterías agotadas,
- paños de limpieza,
- desechos de cocina,
- lodo de cal,
- aceites y grasa,
- solventes,
- residuos de separadores de aceite y de grasa.

Siempre vale la pena acumular estos materiales de forma separada porque así se los puede eliminar mejor para desecho y también sólo se los puede vender de esa forma.

En algunos países con creciente bienestar y mayor industrialización, las montañas de desechos alcanzan volúmenes cada vez mayores, de manera que tarde o temprano todos los países están obligados a tomar medidas para no terminar "ahogados en basura". Así se deben eliminar progresivamente para desecho todos los materiales y se los debe suministrar al reciclaje. Esto causa grandes costos, los cuales, sin embargo, son menores si se logra acumular los diferentes materiales de forma separada.

9.4 Emisiones

9.4.1 Polvo y emisiones de polvo

En la recepción de la malta, durante su transporte y durante la molienda en el molino triturador en seco, se produce polvo que puede causar dificultades –aparte del riesgo de explosiones. Debe ser extraído por aspiración, separación y colección.

El polvo es rico en extractos, pero cualitativamente este extracto no es bueno. El polvo es acumulado en sacos o silos, y se lo deposita en vertederos de basura o se lo agrega a las heces.

9.4.2 Emisiones de la sala de cocción

Durante la cocción del mosto se evapora agua que contiene componentes volátiles de mosto y de lúpulo. Es por ello que en las inmediaciones de la fábrica de cerveza se huele cuando se ha cocido mosto. De acuerdo con la Ley Federal de Protección contra Inmisiones, esto puede ser experimentado como una molestia por olores.

En el caso de utilización de un condensador de vahos de paila, estas emisiones son reducidas en gran medida y, en el caso de la compresión de vahos, se las suprime casi completamente.

9.4.3 Emisiones por gases de combustión

Generalmente, en los equipos de combustión, los valores límite son cumplidos por selección de un combustible apropiado (gas natural o fueloil extraliviano) [84].

Para estar por debajo de los valores límite especificados de óxidos de nitrógeno (NOX) y CO se utilizan:

- en el caso de motores diesel estacionarios, motores de cámara de turbulencia.
- Los motores diesel de mayor tamaño son equipados con un catalizador de tres vías. Esto vale también para motores tipo Otto de cuatro tiempos.
- Los motores diesel deberían estar equipados con un filtro de hollín.

Las carretillas de horquilla elevadora se equipan generalmente con catalizador regulado. ¡Los gases de escape de los motores diesel son cancerígenos!

9.4.4 Emisiones acústicas

En Alemania, las declaraciones legales respecto de las emisiones acústicas permitidas

están establecidas

- en la TA Lärm (Directiva Técnica referente al Ruido)
- en el § 15 de la Disposición de Lugares de Trabajo "Protección contra Ruidos" y
- en la Ordenanza de Prevención de Accidentes "Ruidos" (VBG 121).

En general se registran emisiones acústicas especialmente elevadas

- en la sala de embotellamiento,
- en las inmediaciones de compresores de aire y frigoríficos,
- en las inmediaciones de condensadores de evaporación y
- en las inmediaciones de compresores de vahos.

Una reducción de las emisioens acústicas se logra por medio de

- una elección apropiada de los materiales de construcción, por ejemplo, construcción de doble pared con aislación, ventanas con aislación acústica,
- instalación de cielorrasos acústicos en la sala de embotellamiento,
- uso restringido de azulejos y
- revestimientos insonorizantes en máquinas particularmente ruidosas.

Los ejemplos mencionados sirven para perfilar brevemente la cantidad de problemas que enfrenta cada fábrica de cerveza y para mostrar algunas vías de resolución de los mismos. Los problemas medioambientales y los problemas de eliminación para desecho asociados a éstos van a ser cada vez más grandes en los próximos años. Muchos de los vertederos de basura aún existentes serán cerrados en los próximos años. Las empresas estarán cada vez más obligadas (leyes referentes a la gestión de reciclado y eliminación de residuos) a encargarse ellas mismas de la eliminación de sus residuos –o no producir residuo alguno, en primer lugar.

En tal sentido, todo cervecero está llamado a hacer su aporte para que se produzcan en lo posible pocos desechos.

9.5 Reciclaje de botellas de PET

El PET es producido a partir de petróleo; de aproximadamente 1,9 kg de petróleo se produce 1 kg de PET. Las botellas retornadas de PET pueden ser recicladas y la mitad del material reciclado puede ser utilizado para la fabricación de nuevas botellas de PET. Debido al envasado creciente (también de la cerveza) en botellas de PET, la necesidad de reciclar las botellas retornadas y de suministrarlas nuevamente al ciclo es cada vez mayor. Existen para ello varios conceptos de reciclaje. A continuación se describe brevemente el proceso americano URRC.

La condición previa para un reciclaje es el retorno y la clasificación de las botellas según su color. El material acumulado es comprimido en balas de 3.000 - 5.000 botellas y se lo trata en tres etapas:

1ª etapa: las botellas son separadas y trituradas. Por medio de separadoras centrífugas que operan de forma convencional y de una tecnología de lavado se extraen así los tapones, residuos de bebida y etiquetas.

2ª etapa: en una reacción con lejía se desprende la superficie de los flakes y se eliminan suciedades adheridas o depositadas; en el caso de flakes de botellas de cerveza, esto también se refiere a capas depositadas o aplicadas y a tratamientos. En un horno rotativo tubular se extraen luego también los restos de substancias extrañas y de aromas.

3ª etapa: en la tercera etapa, los flakes son enjuagados y se extraen las últimas impurezas.

El material reciclado es examinado en varios pasos de control en lo que respecta a su reutilizabilidad para un nuevo contacto con alimentos.

10 Gestión energética en la fábrica de cerveza y en la maltería

En todas las etapas para la fabricación de malta y cerveza, y para el envasado, se necesita energía. En esto se utilizan:

- energía eléctrica,
- energía térmica y
- energía neumática.

10.1 Requerimiento de energía en la fabricación de malta y de cerveza

Se necesita energía eléctrica para:

- la producción de frío,
- la producción de aire comprimido,
- el accionamiento de bombas y ventiladores,
- el accionamiento de agitadores y sistemas de transporte,
- operar y controlar válvulas,
- la comunicación y el procesamiento de datos y
- la iluminación.

Se necesita energía térmica para

- la producción de agua caliente,
- el calentamiento de los tostaderos,
- el calentamiento de las templas,
- el calentamiento y la cocción del mosto,
- la limpieza de botellas,
- la limpieza de barriles o kegs,
- la pasteurización flash de la cerveza o para el pasteurizador tipo túnel,
- el equipo CIP,
- la vaporización de filtros, llenadoras y tuberías, y
- la calefacción de edificios e instalaciones sociales.

El requerimiento de energía en la fabricación de malta y de cerveza constituye una parte substancial de los costos de fabricación. Es tarea del cervecero utilizar la energía tan eficientemente como sea posible para mantener estos costos tan bajos como sea posible.

10

Todas las formas de energía pueden ser convertidas una en otra, y de esta manera se las puede comparar entre sí. Para ello se desarrolló el Sistema Internacional de Unidades (SI), que consiste en unas pocas unidades básicas, de las cuales derivan todas las otras unidades. Las más importantes están resumidas al final del libro.

- ***Trabajo es fuerza por distancia,*** pero también se expresa
- ***Trabajo es potencia por tiempo.***

La unidad para el trabajo es el Joule (J).

$$1\ J = 1\ W \cdot s = 1\ Nm$$

De esto resulta:
3600 s son 1 h
3600 Joule son 1 Watt-hora
3600 kJ son 1 kWh o expresado de otra manera:
1 kWh = 3,6 MJ = 860 kcal o expresado de otra manera:
1 kcal = 4,19 kJ.

Las cantidades de energía se indican siempre en:

- kilowatt-hora (kWh) o
- kilojoule (kJ), megajoule (MJ), a veces también (en desuso) en
- kilocalorías (kcal).

En la siguiente tabla se describen los valores de consumo para calor y energía eléctrica en las diferentes áreas de fábricas de cerveza equipadas de forma convencional [89]. Los datos están diferenciados

- según el tamaño de empresa (fábricas de cerveza con capacidad de producción anual de 20.000 hl y de 250.000 hl, respectivamente) así como
- según los valores óptimos y los promedios determinados.

	Consumo de calor en MJ/hl				Consumo eléctrico en kWh/hl			
	20 000 hl		250 000 hl		20 000 hl		250 000 hl	
	ópt.	prom.	ópt.	prom.	ópt.	prom.	ópt.	prom.
materias primas hasta pesaje	6,34	10,98	5,60	8,64	0,30	0,41	0,25	0,34
sala de cocción hasta descarga de mosto	66,2	114,8	58,6	90,4	1,97	2,71	1,65	2,27
cava de fermentación hasta trasiego	-	-	-	-	1,72	2,37	1,44	1,89
reposo	-	-	-	-	1,60	2,20	1,34	1,85
filtración	8,49	14,71	7,50	11,58	0,57	0,79	0,48	0,66
llenado de botellas/latas	26,61	46,12	23,51	36,29	2,24	3,07	1,88	2,58
llenado de barriles/contenedores	13,94	24,16	12,31	19,00	0,46	0,63	0,38	0,52
envases llenos hasta rampa	3,17	5,49	2,80	4,32	0,40	0,54	0,33	0,46
resto (despacho, distribución)	9,19	15,72	6,34	8,48	0,55	0,76	0,46	0,64
administración, cantina, talleres	13,05	22,62	11,53	17,80	0,99	1,36	0,83	1,14
refrigeración	-	-	-	-	4,16	5,71	3,49	4,79
suministro de agua	9,12	15,81	8,06	10,99	0,40	0,54	0,33	0,46
Total fabricación de cerveza	130,0	225,0	113,0	173,0	9,9	13,6	8,3	11,4
fabricación de bebidas sin alcohol	33,5	39,2	28,8	33,8	1,9	2,3	1,7	2,1
fabricación propia de malta (MJ/dt)	253,0	331,0	204,0	285,0	8,5	12,2	7,3	11,0

Por ello, para la fabricación completa de cerveza se debe calcular con un consumo de energía térmica de180 a 200 MJ/hl de cerveza para venta y de energía eléctrica de 10 a 12 kWh/hl de cerveza para venta.

Se puede ver claramente que:

- los grandes consumidores de energía térmica en la fábrica de cerveza son la sala de cocción y el envasado,
- los grandes consumidores de energía eléctrica son la refrigeración, pero también el envasado y la sala de cocción.

En la fábrica de cerveza se encuentran los siguientes equipos generadores o consumidores de energía, los cuales serán considerados a continuación:

- plantas de calderas de vapor,
- plantas de refrigeración,
- equipos eléctricos,
- bombas y compresores.

10.2 Plantas de calderas de vapor

En la caldera de vapor, el agua es convertida en vapor para realizar trabajo en este estado. El vapor tiene

- un contenido de calor substancialmente mayor que el del agua y
- puede ser transportado fácilmente.

Para una mejor comprensión de las plantas generadoras de vapor hay que ocuparse primero de la esencia del vapor. Pero, para generar vapor, se necesita un combustible.

10.2.1 Combustibles

Como combustibles se utilizan hoy en día principalmente petróleo y gas natural. Pero, desde el punto de vista económico, también otros combustibles son interesantes por los más variados motivos.

Para la evaluación del valor calorífico de los diferentes combustibles se tienen dos bases de comparación:

- el equivalente de carbón (EC) y
- el valor calorífico (mínimo).

Por equivalente de carbón se entiende la energía interna media de un 1 kg de hulla. Ésta ha sido establecida internacionalmente en 29400 kJ. De acuerdo con esto, otros combustibles tienen los siguientes valores:

1 kg de petróleo	1,44 EC
1 m^3 de gas natural	1,40 EC
1 kg de madera	0,50 EC
1 kg de lignito bruto	0,26 EC
1 kWh	0,123 EC

Por valor calorífico de un combustible se entiende la cantidad de calor liberada al quemar una cantidad definida del mismo. El valor calorífico máximo (calor de combustión) es el valor teórico más grande posible. Éste se diferencia del valor calorífico mínimo –que es el único valor indicado en tablas– por el calor de condensación.

En cualquier proceso de combustión se forma agua:

Ejemplo:

metano $CH_4 + 2O_2 \Rightarrow CO_2 + 2H_2O$.

Esto significa que en cualquier proceso de combustión se forma vapor de agua, que se condensa al enfriarse. El calor de condensación producido es la diferencia de energía entre el valor calorífico máximo y el mínimo. Se paga siempre según el valor calorífico máximo.

El valor calorífico mínimo es la cantidad de calor que es liberada en una combustión completa, si el vapor de agua formado durante la combustión es enfriado hasta el punto de rocío, pero se encuentra presente en estado de vapor. Por otro lado, el valor calorífico máximo se aplica para la facturación de combustibles.

Los combustibles de uso comercial tienen los siguientes valores caloríficos (mínimos):

Fuente de energía	Valor calorífico mín. en kJ
fueloil extra ligero	42 700 / kg
fueloil mediano	41 020 / kg
fueloil pesado	39 770 / kg
gasoil (diesel)	41 820 / kg
hulla (Ruhr)	31 800 / kg
coque de alto horno	28 900 / kg
coque de gas	29 300 / kg
briquetas de lignito	20 090 / kg
lignito bruto (Sajonia)	10 460 / kg
lignito bruto (Lausitz)	9 630 / kg
turba secada al aire	15 490 / kg
gas de ciudad	16 120 / m^3
gas natural L	31 950 / m^3
gas natural H	37 500 / m^3
metano	35 880 / m^3
propano	93 210 / m^3

Una magnitud particularmente importante desde un punto de vista económico es el precio del calor. Éste indica cuánto cuesta finalmente 1 kWh ó 1 MJ. La determinación del precio del calor se realiza según la siguiente fórmula:

$$\text{precio del calor} = \frac{\text{precio del combustible por t o m}^3}{\text{valor calorífico mínimo del combustible}}$$

El resultado se expresa en EUR/MJ o EUR/kWh.

Sin embargo, este resultado no tiene mucho valor informativo, dado que, para la determinación de los costos, también es decisivo saber hasta qué punto la caldera posee la capacidad de transformar realmente la energía del combustible en energía térmica. La relación que estos dos números tienen entre

sí se denomina "rendimiento de la caldera".

El precio del calor útil (también llamado "precio del calor neto"), que es importante, se determina de la siguiente manera:

$$\text{precio del calor útil} = \frac{\text{precio (bruto) del calor}}{\text{rendimiento de la caldera}}$$

Es decir que el precio del calor útil informa concretamente cuánto será finalmente el costo de producción en EUR para 1 MJ ó 1 kWh.

10

Naturalmente, el precio del calor útil es siempre mayor que el precio del calor, ya que el rendimiento de la caldera es menor que 100%. Las calderas modernas para agua de uso industrial condensan en parte los gases de escape y alcanzan con ello rendimientos –referidos al valor calorífico mínimo– por encima de 100% ("calderas de condensación").

Si se quiere evaporar agua en la caldera, se debe conocer más detalladamente las propiedades del vapor.

10.2.2 Vapor

Cuando se calienta agua a la temperatura de ebullición y se suministra calor adicional, se forma vapor.

La temperatura a la cual hierve el agua se llama "temperatura de ebullición"; depende de la presión y aumenta con el incremento de presión.

10.2.2.1 Calor de evaporación

Para transformar agua en vapor se debe suministrar calor de evaporación.

Por calor de evaporación se entiende la cantidad de calor que es necesaria para transformar 1kg de agua en vapor a igual temperatura.
Por ejemplo, para transformar 1 kg de agua a una presión de 1 bar y una temperatura de 100°C en vapor a 100°C, se necesitan 2257,9 kJ = 0,6272 kWh = 539 kcal.

El calor de evaporación depende de la temperatura de evaporación y de la presión. Se reduce progresivamente con el aumento de la temperatura y con el de la presión. A la "presión crítica" de 221,2 bar = 374,15°C ya no se requiere calor de evaporación: el agua en ebullición se tranforma directamente en vapor.

La siguiente tabla informa respecto de la temperatura de vapor correspondiente a cada presión y la cantidad de calor contenida:

Presión	Temperatura	Cantidad de vapor	Contenido de calor del agua en estado de saturación	vapor	Calor de evaporación
bar	en °C	en m³/kg	en kJ/kg	en kJ/kg	en kJ/kg
0,010	6,9808	129,20	29,34	2514,4	2485,0
0,050	32,898	28,19	137,77	2561,6	2423,8
0,10	45,833	14,67	191,83	2584,8	2392,9
0,50	81,345	3,240	340,56	2646,0	2305,4
0,70	89,959	2,365	376,77	2660,1	2283,3
0,80	93,512	2,087	391,72	2665,8	2274,0
0,90	96,713	1,869	405,21	2670,9	2265,6
1,0	99,632	1,694	417,51	2675,4	2257,9
1,5	111,37	1,159	467,13	2693,4	2226,2

Presión bar	Temperatura en °C	Cantidad de vapor en m^3/kg	Contenido de calor del agua en estado de saturación en kJ/kg	vapor en kJ/kg	Calor de evaporación en kJ/kg
2,0	120,23	0,8854	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,7184	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,6056	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,5240	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,4622	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,4138	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,3747	640,12	2747,5	2107,4
6,0	158,84	0,3155	670,42	2755,5	2085,0
8,0	170,41	0,2403	720,94	2767,5	2046,5
10,0	179,88	0,1943	762,61	2776,2	2013,6
15	198,29	0,1317	844,67	2789,9	1945,2
20	212,37	0,09954	908,59	2798,2	1888,6
50	263,91	0,03943	1154,5	2794,2	1639,7
100	310,96	0,01804	1408,0	2727,7	1319,7
200	365,70	0,005877	1826,5	2418,4	591,9
221,2	374,15	0,00317	- 2107,4 -		0,0

10.2.2.2 Vapor húmedo

El vapor formado durante la ebullición se llama "vapor húmedo". Tiene la misma temperatura que el líquido en ebullición y contiene todavía aproximadamente un 20% de agua. Tan pronto como el calor de evaporación ha sido suministrado completamente, se habla de vapor saturado seco, que también puede ser transferido. Pero, tan pronto como desciende su temperatura, una parte se condensa y de este modo pierde considerablemente en contenido de calor. Durante la condensación, se cede el calor de evaporación contenido.

El volumen del vapor formado durante la ebullición es enormemente grande. Si hervimos a 1 bar (presión normal), se forman (ver tabla) 1,694 m³ de vapor/kg de agua evaporada. Esto es alrededor de 1700 litros. Debido a este enorme aumento de volumen es posible, por ejemplo, generar mucho vapor con una cantidad relativamente pequeña de agua y operar con ello una máquina de vapor.

Inversamente, durante la condensación se forma poca agua a partir de mucho vapor.

10.2.2.3 Vapor sobrecalentado

A los efectos de poder transportar el vapor sin pérdidas, se calienta el vapor saturado hasta 300°C (Figura 10.1) por medio de un suministro adicional de calor. El vapor sobrecalentado no puede condensarse, aun en el caso de un reducido enfriamiento; recién cuando se está por debajo de la temperatura de evaporación, el vapor se condensa.

Este vapor se denomina "vapor sobrecalentado". Su gran contenido de calor posibilita que sea transportado a través de grandes distancias –aun en el caso de ceder energía–. Sin embargo, la transferencia de calor es relativamente pobre a pesar de la elevada temperatura. Es por ello que se trata de introducir el vapor en el intercambiador en forma de vapor saturado a fin de mantener la superficie calentada lo más pequeña posi-

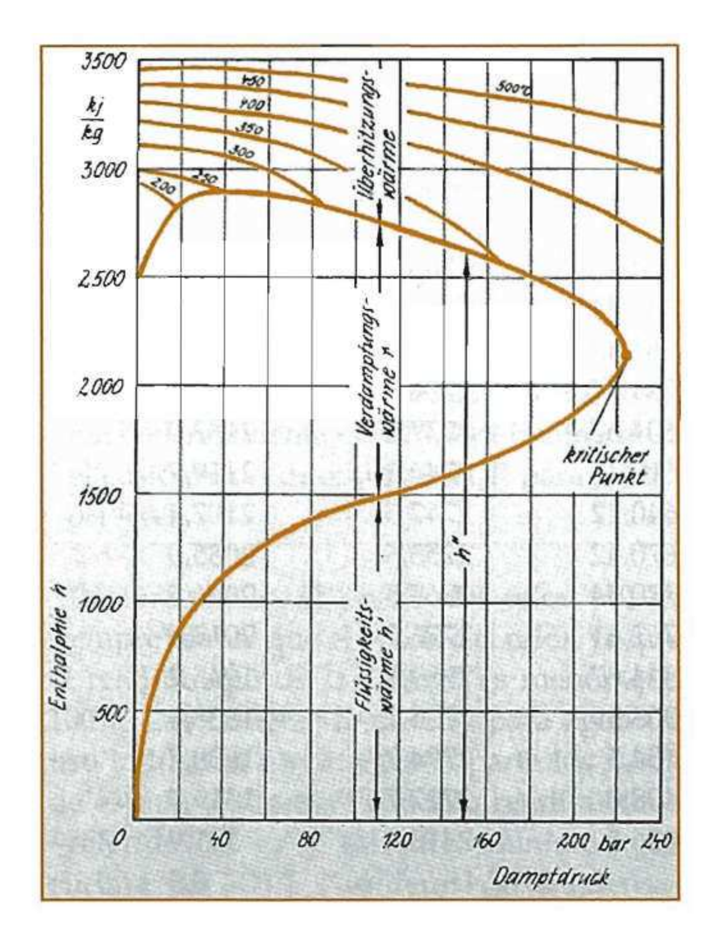


Figura 10.1
Contenido de calor del vapor de agua

ble. Por este motivo, a veces se inyecta condensado en el vapor sobrecalentado poco antes de la transferencia de calor a los efectos de reducir el sobrecalentamiento (enfriamiento de vapor).

10.2.2.4 Agua caliente

Para la distribución de calor también puede seguirse otro camino, en el que el agua se calienta bajo presión hasta 160 a 170°C, pero no se le permite estar en ebullición. Esta agua muy caliente puede ser transportada y utilizada para cocción. En este caso se habla de cocción por agua caliente o hidrococción (ver cocción del mosto).

La ventaja es que se puede utilizar el potencial de calor completo para calentamiento. Con esto se prescinde también de toda la gestión de condensados y de su control.

Las deventajas son la sección de tubo sustancialmente más grande y la mayor capacidad de bomba, que resultan debido al transporte del agua líquida en vez del vapor en forma de gas.

10.2.3 Calderas de vapor

10.2.3.1 Clasificación de las calderas de vapor

Por caldera de vapor, de acuerdo con la Reglamentación de Calderas de Vapor, se entienden recipientes o configuraciones de tubos cerrados, que generan vapor de agua de una presión mayor que la atmosférica con el propósito de usarlo fuera de la caldera de vapor.

Las calderas de vapor se clasifican en 4 grupos:

Calderas de vapor del grupo I con una capacidad de 10 litros como máximo.

Calderas de vapor del grupo II. Éstas son calderas de vapor con una capacidad mayor que 10 litros y como máximo 1 bar de presión manométrica, y 120°C de temperatura de salida.

Calderas de vapor del grupo III. Éstas son calderas de vapor con una capacidad de 50 litros:

1. con presión manométrica de más de 1 bar si el resultado de multiplicar el contenido de agua en litros por la presión manométrica permitida en bar no es mayor que 1000,
2. si en generadores de agua caliente la temperatura permitida de salida es mayor que 120°C y el resultado de multiplicar el contenido de agua en litros por la presión de vapor manométrica en bar no es mayor que 1000.

Calderas de vapor del grupo IV (todas las demás calderas). Aquí se incluyen también las plantas de calderas que operan en la fábrica de cerveza.

Las calderas de vapor del grupo IV deben ser ubicadas en un edificio de calderas. Sobre

la base de las Reglas Técnicas para Calderas de Vapor (TRD 604), es posible, bajo determinadas circunstancias, una operación durante las 24 horas sin supervisión.

Las calderas de vapor son clasificadas:

- según la presión de operación (calderas de vapor de alta y de baja presión),
- según el tipo de calentamiento (por carbón, por fueloil, por gas natural, eléctrico),
- según el tipo de circulación de agua (circulación natural o forzada) y
- según el pasaje del medio, en calderas humotubulares y calderas acuotubulares.

Los datos de referencia más importantes de una planta de calderas son:

- la capacidad en t de vapor por hora,
- la potencia del equipo quemador en MW,
- la presión manométrica de operación en bar,
- la temperatura de vapor en la salida de caldera o bien en la salida del sobrecalentador,
- la temperatura del agua en la entrada de caldera,
- el combustible (tipo y valor calorífico en kJ/kg o kJ/m^3) y
- la cantidad de agua.

10.2.3.2 Tipos constructivos de calderas de vapor

Básicamente se distinguen dos tipos constructivos diferentes de calderas de vapor:

- calderas pirotubulares-humotubulares y
- calderas acuotubulares.

Calderas pirotubulares-humotubulares

Aquí, la combustión ocurre en el tubo de fuego y los gases de humo pasan a través de los tubos de humo. El tubo de fuego y los tubos de humo se encuentran dentro de la cámara de agua.

Debido a su gran contenido de agua, estas calderas se llaman también "calderas de gran capacidad". Como calderas pirotubulares de dos tubos, estas calderas de gran capacidad han asegurado durante décadas el abastecimiento de vapor de las fábricas de cerveza. Las calderas pirotubulares de dos tubos se siguen fabricando hoy en día, en diseño moderno, para capacidades hasta 30 t de vapor/h.

La calderas en las fábricas de cerveza son en su mayoría calderas de tres pasos.

Esta denominación proviene del hecho de que el pasaje de los gases de combustión y de humo ocurre en estas calderas en tres pasos. De este modo, la superficie de intercambio de calor se aprovecha de la mejor manera posible.

Las ventajas de las calderas de gran capacidad son importantes:

- debido a su gran contenido de agua, son muy robustas y pueden compensar irregularidades en el consumo,
- debido a su gran superficie de evaporación, suministran un vapor relativamente seco.

Calderas acuotubulares

En contraste con las calderas humotubulares, el agua y el vapor se encuentran aquí dentro de los tubos. Estos tubos forman la parte exterior del hogar (caja de fuego). Las calderas acuotubulares se construyen para capacidades medias y altas con presiones de operación hasta 180 bar.

Generadores de vapor instantáneo

Los generadores de vapor instantáneo son calderas acuotubulares de un tipo de construcción particular, en las cuales el agua es forzada por una bomba a través de serpentines calentadores. El agua es evaporada en este proceso en muy breve tiempo (2 a 10 min).

En las calderas acuotubulares se diferencia entre calderas de circulación natural y calderas de circulación forzada.

En las calderas de circulación natural, la mezcla de vapor y agua de menor peso específico asciende, en tanto que el agua descien-

de en las partes que son menos calentadas. Con esto se obtiene una circulación natural en la cámara de agua de estas calderas, que se operan con presiones hasta 180 bar.

En la caldera de circulación forzada, la circulación de agua se logra por medio de una bomba. La bomba hace circular el agua de caldera desde el separador de vapor a través del sistema de tubos calentados. En este proceso, el agua es calentada a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión de caldera.

10

10.2.3.3 Caldera de tres pasos

Las fábricas de cerveza tiene en su mayoría una o varias calderas de tres pasos de diferentes tamaños, las que son conectadas de acuerdo con el requerimiento energético.

La caldera consiste en un cilindro de chapa de acero horizontal y bien aislado (Figura 10.2; 1). De un lado de la caldera se encuentra el tubo de fuego (2), en cuya cara anterior está montado el quemador (3). Por medio de este último, la mezcla de gas o fueloil con aire es quemada con llama fuerte en el tubo de fuego.

Alrededor del tubo de fuego fluye el agua y el nivel de ésta se mantiene constante por encima del tubo de fuego por medio de una bomba de alimentación de caldera (controlada por electrodos de nivel). Los gases de humo formados son cambiados de dirección en la cámara posterior de inversión (4) y conducidos nuevamente hacia adelante en un haz de tubos de humo -2º paso (5).

En la cámara anterior de inversión (6), los gases de humo cambian nuevamente de dirección y se los conduce ahora hacia atrás (haz de tubos de humo -3er paso; 7). Debido al enfriamiento de los gases de humo que ha ocurrido entretanto, el 3er paso posee una cantidad considerablemente menor de tubos de humo.

Mientras que los gases de humo se enfrían, el agua entra en ebullición y el vapor sale de la caldera por la válvula de vapor (8). En la Figura 10.3 se muestra una vez más el recorrido de los gases de humo.

En las calderas pirotubulares de dos tubos, los tres pasos para cada uno de los dos tubos de fuego se logran por medio de una disposición de los tubos de humo en capas (Figura 10.4).

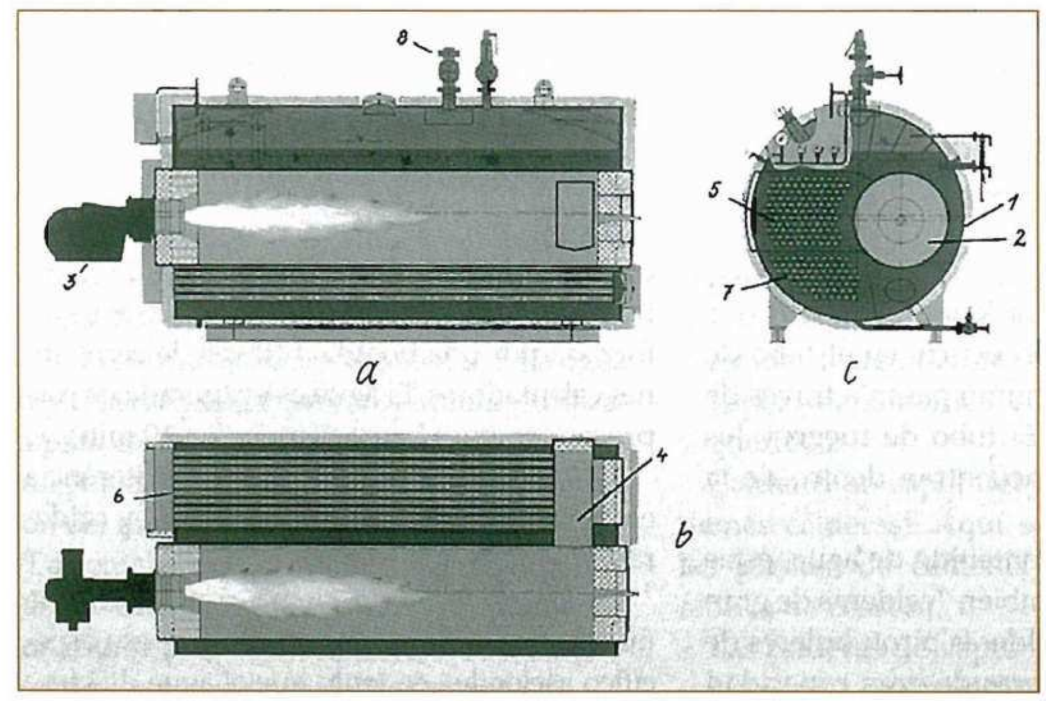


Figura 10.2
Caldera de tres pasos
(a) vista lateral,
(b) vista de arriba,
(c) vista frontal,
(1) pared de caldera,
(2) tubo de fuego,
(3) quemador,
(4) cámara posterior de inversión,
(5) haz de tubos de humo (2º paso),
(6) cámara anterior de inversión,
(7) haz de tubos de humo (3er paso),
(8) válvula de vapor

Para garantizar una operación de caldera sin supervisión permanente de acuerdo con TRD 604, la caldera debe estar equipada con el correspondiente sistema de regulación y seguridad.

Esto incluye, aparte de los electrodos de seguridad para el nivel de agua que fueron mencionados antes:

- indicadores de nivel de agua,
- manómetros con marcación especial de la presión máxima permitida,
- dispositivo de cierre de la tubería de vapor,
- válvulas reguladoras de agua de alimentación,
- separadores para agua y aceite,

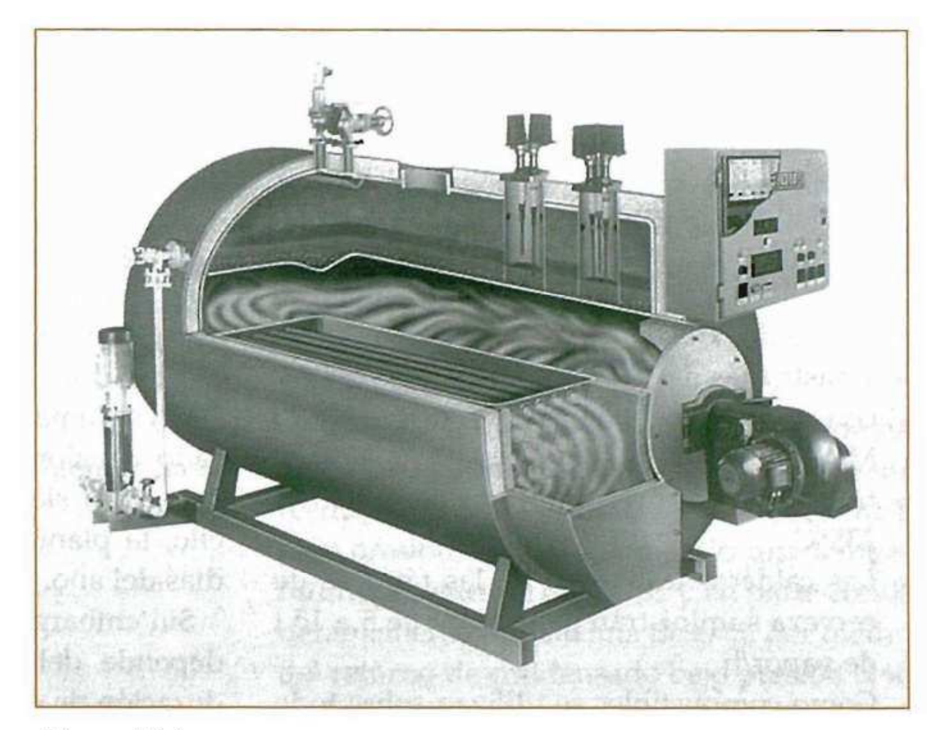


Figura 10.3
Caldera de tres pasos (corte)

Figura 10.4: Caldera pirotubular de dos tubos

(1) boiler body,
(2) fire-tube,
(3) exhaust gas tube,
(4) exhaust gas tube, 3rd pass,
(5) rear direction changing chamber, water cooled,
(6) front direction changing chamber,
(7) exhaust gas discharge,
(8) boiler support frame,
(9) insulation,
(10) feed valve,
(11) steam connection,
(12) safety valve,
(13) water level limiter,
(14) water level indicator
(15) pressure controller,
(16) manometer,
(17) waste drain valve

- reguladores para el abastecimiento de combustible y la regulación de los quemadores,
- reguladores de presión de seguridad y limitadores de presión de seguridad, e
- indicador de preavisos y fallos.

Las calderas de tres pasos se construyen en tamaños de

- 1 hasta más de 30 t de vapor/h,
- con una potencia hasta por encima de 25 MW y
- trabajan con presiones hasta 32 bar = 235°C.
- Las calderas utilizadas en las fábricas de cerveza suministran generalmente 5 a 15 t de vapor/h.

10

Como combustibles se utilizan sobre todo petróleo y gas natural, pero también combustibles sólidos. Desde tiempos recientes se está discutiendo también el uso de biogas, obtenido de plantas purificadoras anaeróbicas, pertenecientes a la empresa.

Los combustibles son quemados a alta temperatura en la caldera. La temperatura en el hogar depende del valor calorífico del combustible, de la cantidad de aire de combustión y temperatura de combustión, y de la radiación térmica en la cámara de combustión. Esta temperatura de hogar es menor que la temperatura de combustión, que solamente sería alcanzable en el caso de una combustión completa con una cantidad teóricamente completa de aire y sin radiación alguna.

Temperatura teórica de combustión	
carbón bituminoso	2300°C
fueloil	2000°C
lignito (Renania)	1500°C
Temperatura promedio y real de combustión	
carbón, fueloil, gas natural: 1200 a 1600°C	

10.2.3.4 Recuperación de energía y mejoramiento del rendimiento

Se está interesado en utilizar la cantidad de energía liberada por el combustible totalmente para propósitos propios. Para esto,

- el agua de alimentación es precalentada por enfriamiento de los gases de humo en el economizador,
- se sobrecalienta el vapor, a los efectos de hacerlo más transportable,
- se evitan pérdidas por condensado y se previene la reducción de la presión de condensado.

Un sistema cerrado de retorno de condensado funciona únicamente si la planta se encuentra siempre bajo presión. Pero, para ello, la planta debe operar durante los 365 días del año.

Sin embargo, el rendimiento de la caldera depende del número de arranques, de la duración de operación y de la de utilización.

Ejemplo 1:

Una caldera con gran capacidad de calor y una temperatura del agua de 65°C es puesta en marcha el domingo a los efectos de vaporizar el filtro de aire de la aireación del mosto. La mayor parte del calor es generada inútilmente; el rendimiento es en este caso casi 0%.

Ejemplo 2:

Un generador de vapor instantáneo de dos etapas (6 t/h y 12 t/h) es operado en la sala de cocción, en la cual se evaporan 50 hl/h. Aquí puede suceder que el generador de vapor arranque y pare permanentemente, que se conecten la etapa pequeña, la etapa grande, etc. Como resultado, los gases calientes de combustión son liberados sin ser utilizados durante la aireación de los pasos. Esta aireación es necesaria para prevenir deflagraciones. El rendimiento está por debajo de 50%.

En la mayoría de los casos, los rendimientos nominales están referidos a condiciones operativas óptimas; es por ello que rara vez se alcanzan rendimientos promedio mayores que 85%.

10.2.3.4.1 Economizador

Los gases de combustión todavía están muy calientes al salir de la caldera. Para que

este calor no se pierda, se instalan serpentines en el espacio directamente posterior a la caldera, a través de los cuales fluye en contracorriente el agua de alimentación de caldera. Los gases de humo calientes, que aún tienen una temperatura aproximada de 260 a 300°C, se enfrían de este modo considerablemente a 120 a 130°C, en tanto que el agua de alimentación de caldera se calienta así a más de 100°C (Figura 10.5). Con ello, el rendimiento de la caldera puede aumentar hasta por encima de 95%.

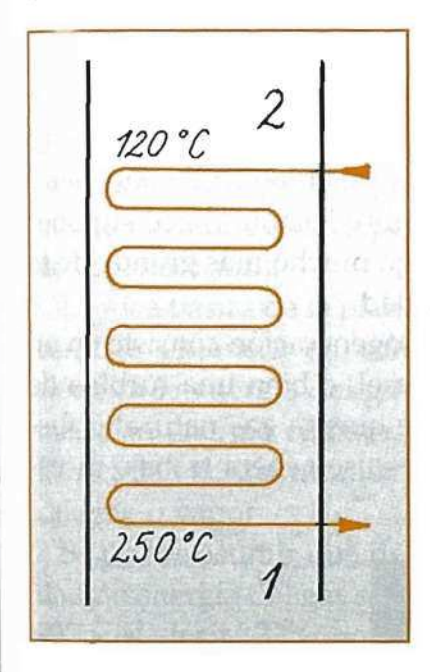


Figura 10.5
Economizador (esquema)
(1) entrada de gases de escape
(2) gases de escape a la chimenea

Un precalentador tal de agua por gases de humo (o economizador) se conecta directamente detrás de la caldera o se lo embrida al tubo de gases escape.

10.2.3.4.2 Sobrecalentador

En el sobrecalentador, la temperatura del vapor es aumentada hasta por encima de la temperatura de saturación. Este incremento de temperatura tiene las siguientes ventajas:

- el agua arrastrada por el vapor al salir de de la caldera es evaporada, y
- el vapor seco es transportable por trayectos largos sin que condense, aun en el caso de un reducido enfriamiento.

Los sobrecalentadores son construidos con una o varias etapas y consisten en tubos lisos, doblados en forma de serpentines. Los gases de humo que fluyen por fuera suministran calor adicional al vapor que se encuentra en los tubos y lo sobrecalientan con ello hasta 250 a 300 °C.

10.2.3.4.3 Retorno de condensado

También el condensado contiene todavía una gran cantidad de energía que puede ser recuperada. El condensado, que se encuentra bajo presión, continúa teniendo una temperatura por encima de 100°C y en parte considerablemente por encima de ésta. Por medio del retorno de condensado bajo presión (140 a 180°C) a la caldera se puede evitar 10 a 12% de las pérdidas de energía. La condición para ello es un sistema cerrado de retorno, dado que, tan pronto como el condensado ya no se encuentra bajo presión, se evapora hasta alcanzar la temperatura de 100°C.

10.2.4 Máquinas de vapor

Antaño era usual que cada fábrica de cerveza tuviera una máquina de vapor a pistón, en la cual una parte del vapor era usada para producir un movimiento de rotación. A través de un volante decorativo se operaba un generador de corriente y con ello se aseguraba más o menos el autoabastecimiento de corriente eléctrica. Hoy en día, tales máquinas de vapor a pistón sólo pueden ser admiradas en los museos cerveceros. Con estas máquinas, la energía contenida en el combustible sólo es transformada en aproximadamente 12 a 14% en energía de movimiento (rendimiento mecánico). La mayor parte de la energía del vapor no puede ser transformada en movimiento rotatorio y queda como energía térmica (vapor de escape o agua caliente).

En lugar de las viejas máquinas de vapor a pistón se emplearon más tarde turbinas de vapor, en las cuales se substituía el movi-

miento alternativo de la máquina de vapor por un movimiento rotatorio permanente por medio de rodetes con álabes. Tales turbinas de vapor sólo se encuentran hoy en día en algunas fábricas de cerveza. Su rentabilidad era aumentada por el hecho de que en Alemania el Estado subvencionaba la autogeneración de energía eléctrica por medio de carbón mediante el "Kohlepfennig" (gravamen para financiar la subvención mencionada).

A los efectos de poder utilizar la energía térmica lo más eficientemente posible, se desarrollaron las siguientes formas de operación:

- Operación sin condensación: en este caso, el vapor se expande en la máquina hasta la presión atmosférica y escapa sin ser aprovechado. Una forma de trabajo tal es completamente ineficiente y ya no es usual hoy en día.
- Operación por contrapresión: el vapor se expande solamente hasta 2 a 3 bar y luego se lo utiliza todavía para propósitos de cocción y de calentamiento.
- Operación por condensación: el vapor condensa; disminuye su volumen y la presión deciende hasta 0,1 bar debido a la succión producida. De esta manera aumenta el diferencial de presión utilizable y con ello el rendimiento mecánico.

Básicamente, debe decirse que la autogeneración de energía eléctrica por medio de plantas de vapor es más difícil de encontrar hoy en día en las fábricas de cerveza; es particularmente interesante allí donde hay combustibles económicos como incentivo. En la actualidad a veces se emplean para esto plantas de cogeneración.

10.2.5 Plantas de cogeneración

En lugar de las viejas máquinas de vapor se utilizan hoy a veces plantas de cogeneración. Aquí el nombre "planta" hace suponer que se trata de algo mucho más grande de lo que es en la realidad.

Una planta de cogeneración consiste en un motor a gas o diesel, o bien una turbina de gas, en los que se quema gas natural o fueloil. En este proceso se genera trabajo mecá-

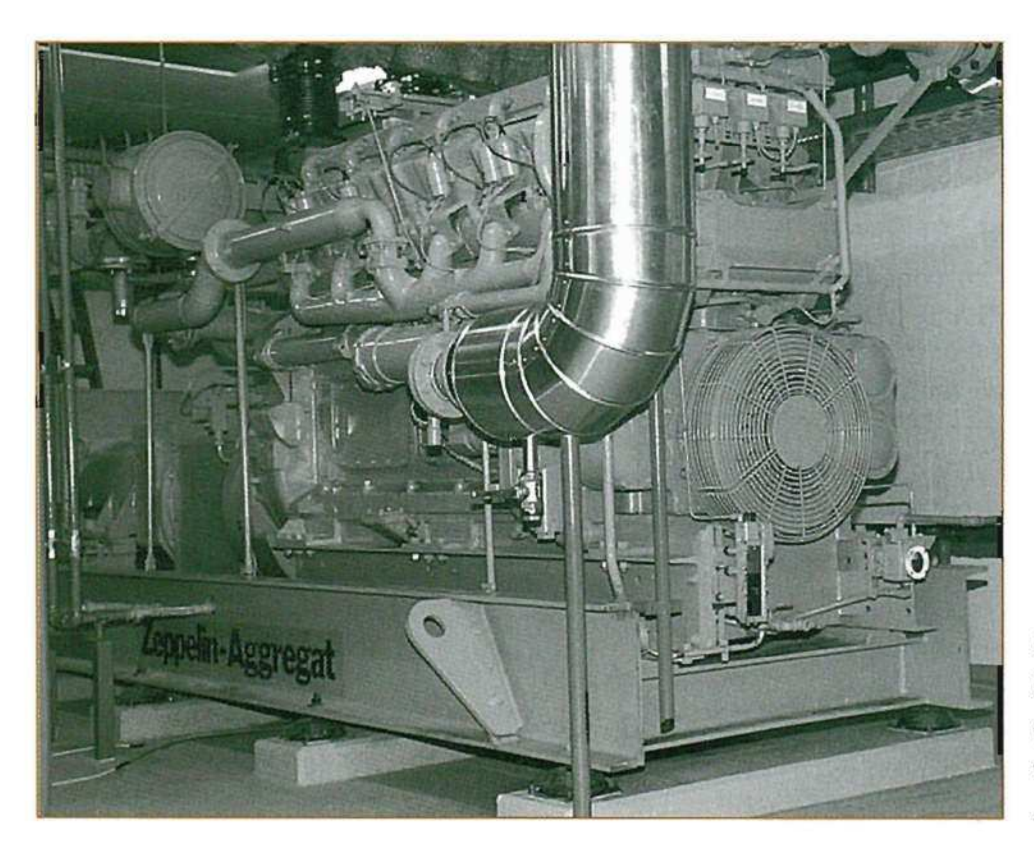


Figura 10.6
Planta de cogeneración (Foto Zeppelin-Metallwerke GmbH, Achim b. Bremen)

nico, que es transformado en energía eléctrica. Los gases de combustión son usados para propósitos de calentamiento.

Al motor de combustión interna se le acopla un generador de corriente eléctrica, que funciona de forma paralela a la red, con una tensión de 380V, y que se encarga de una porción substancial de la autogeneración de energía eléctrica o bien puede suministrar energía eléctrica a la red pública, en el caso de un requerimiento propio reducido. También se puede cubrir de esta manera picos temporarios de requerimiento de energía eléctrica.

Pero sólo con esto, el motor a gas no se justifica, porque esta energía eléctrica es aún demasiado cara. Recién pasa a ser interesante si también se puede aprovechar completamente el calor perdido por el motor (planta de cogeneración).

La idea básica de la planta de cogeneración consiste entonces en convertir en energía eléctrica la energía del gas que fue transformada en energía cinética y en utilizar en la fábrica la energía térmica en forma de agua caliente o vapor.

Se puede asumir que del 100% de la cantidad de energía del gas se puede usar hasta el 90%; es decir, 33% por transformación en energía eléctrica y 58% en calor (agua caliente o vapor). Un 5% proveniente de la radiación del motor puede ser utilizado para precalentamiento.

A los efectos de poder aprovechar correctamente el calor de escape, se lo recupera frecuentemente en dos circuitos de agua [103]:

- un circuito de agua de alta temperatura con aproximadamente 140°C y
- un circuito de agua de baja temperatura con aproximadamente 65°C

y los correspondientes tanques acumuladores.

El agua a alta temperatura de 140°C corresponde a una presión de 3,5 bar. Esta agua caliente puede ser utilizada directamente para calentamiento o para la cocción.

Una planta de cogeneración incluye consecuentemente:

- el motor de combustión interna con un generador de corriente eléctrica,
- circuitos de baja y de alta temperatura con tanque acumulador.

El empleo de plantas de cogeneración en fábricas de cerveza y malterías con el propósito de cubrir una parte substancial del abastecimiento energético es un paso en dirección a la reducción de los costos energéticos. La planta de cogeneración es conectada en paralelo a la red o en "operación aislada", lo cual puede ser de gran interés en algunos países. En el caso de plantas de mayor tamaño y con uso de turbinas de gas se habla también de "plantas de acoplamiento termo-energético". La utilización económicamente eficiente de plantas de cogeneración depende de la situación energética de cada país.

10.3 Equipos de refrigeración

Durante la fabricación de cerveza se debe refrigerar varias veces:

- el mosto caliente es refrigerado a la temperatura de inicio de fermentación,
- la cerveza verde en fermentación es refrigerada durante las fases de fermentación y maduración,
- en la fase de enfriamiento subcero ocurre finalmente el enfriamiento a 0 a -2°C, pero
- el depósito de tanques de presión y
- las bodegas y los almacenes también deben ser refrigerados.

Resulta así el siguiente requerimiento de refrigeración [119]:

	kWh/hl
refrigeración del mosto	1,668 - 2,224
fermentación y enfriamiento subcero	1,270 - 2,427
refrigeración de salas y otros ítems	2,780 - 5,830
Requerimiento total	5,718 -10,489

Si se asume que se puede refrigerar hasta una diferencia de 2 K a través del medio refrigerante, se necesitarán medios refrigerados para todos los enfriamientos por debajo de 12 a 14°C porque con agua de fábrica no se puede refrigerar a una temperatura menor. Los medios más fríos son producidos en un equipo de refrigeración.

Pero esto no fue siempre así. Nuestros abuelos no poseían todavía una máquina frigorífica, pero también en el verano necesitaban frío. En aquel entonces era usual que los empleados de la fábrica de cerveza serrucharan el hielo durante el invierno gélido en un estanque cercano y lo transportaran con mucho trabajo a la fábrica de cerveza. El hielo muy frío era depositado luego en una bodega de hielo rodeada de una gruesa mampostería y debía cubrir el requerimiento de frío hasta el próximo invierno. Estas bodegas de hielo aún existen en algunas fábricas de cerveza y entretanto han cambiado de función. La refrigeración ocurría entonces por medio de flotadores, en los cuales se colocaba el hielo. Sin embargo, esto era problemático en los inviernos libres de hielo, que ocurren cada tanto.

10.3.1 Agentes refrigerantes y refrigerantes secundarios

10.3.1.1 Agentes refrigerantes

La generación de frío se basa en el hecho de que se necesita calor de evaporación. Este calor de evaporación es extraído del entorno. De este modo se enfría el entorno.

Para la evaporación se elige una substancia que requiera mucha energía para evaporarse; generalemente es amoníaco (NH_3). Estas substancias que extraen calor por evaporación se llaman "agentes refrigerantes".

Aparte del amoníaco también se utilizan en equipos pequeños, en cantidades gradualmente menores, hidrocarburos fluorados (HFC) e hidrocarburos clorofluorados (CFC), los cuales, sin embargo, son muy fuertemente criticados como destructores de la capa de ozono. Estos agentes refrigerantes halogenados HFC están caracterizados por una "R" (Refrigerant) y una combinación de cifras, que se refiere al número de átomos de carbono, hidrógeno y cloro (R12, R22). El nombre comercial agregado se refiere al fabricante (Frigen 12 = Farbwerke Hoechst, Freon 12 = Du Pont, etc.). Inclusive el amoníaco tiene un número (R717).

Dado que el amoníaco no posee un potencial destructor del ozono y de este modo tampoco aporta a la formación del efecto invernadero, se lo usa gradualmente cada vez más como agente refrigerante –también para equipos de refrigeración pequeños–. No obstante, se debe informar sobre algunos peligros:

- El amoníaco es un gas muy corrosivo, que puede causar irritaciones o hasta quemaduras de las vías respiratorias.
- El amoníaco es explosivo a muy alta temperatura y mezclado con aire. Con CO_2 y ácidos reacciona con gran liberación de calor.
- El amoníaco es una substancia riesgosa para las aguas y corresponde a la clase 2 de riesgos para el agua. Los lugares de instalación de equipos que contienen amoníaco deben ser equipados con piletas colectoras, de manera que no llegue NH_3 a las aguas subterráneas.

Sin embargo, ya es perceptible en muy alta dilución, de manera que se pueden detectar y solucionar muy rápidamente pequeños defectos.

En el caso de defectos mayores se forma inmediatamente una nube de aerosol extremadamente fría de hasta -70°C debido a la evaporación del NH_3, la cual puede causar grandes daños.

Las fábricas de cerveza dominan generalmente bastante bien la tecnología de seguridad en el manipuleo con amoníaco, pero una

serie de fallas en el pasado muestra que se debe prestar mucha atención cuando se trabaja con amoníaco.

Es por ello que en algunos países las plantas con más de 3 t de capacidad total de amoníaco están sujetas a una aprobación especial.

No obstante, el amoníaco continuará siendo el agente refrigerante principal en los próximos años.

10.3.1.2 Refrigerantes secundarios

El agente refrigerante

- es evaporado directamente (refrigeración directa) durante la refrigeración de los medios (zona de refrigeración en el tanque cilindrocónico, tubos refrigerantes para la refrigeración de salas, etc.) o
- el frío es transmitido en un evaporador a otro medio resistente a congelamiento, que se denomina refrigerante secundario. Los refrigerantes secundarios transmiten el frío, pero no se evaporan. Tal como son calentados durante la transmisión de calor, se los debe refrigerar nuevamente (refrigeración indirecta). Con esto, el rendimiento del equipo diminuye y, allí donde es posible, hay hoy en día un cambio creciente hacia la refrigeración directa. Sin embargo, existen áreas en las cuales se utilizan refrigerantes secundarios por motivos de seguridad. Como refrigerantes secundarios sólo se pueden considerar medios resistentes al congelamiento y no agresivos, en particular:
  - glicol, una mezcla de alcohol y agua, y
  - salmuera libre de cloro.

  En la fábrica de cerveza se hace referencia a éstos en ambos casos como salmuera.

  El gas frío evaporado debe ser pasado luego al estado líquido para poder evaporarse nuevamente. Según la forma en que sucede esto, se distingue entre dos tipos de equipos de refrigeración:
- equipos de refrigeración por compresión: aquí, el gas es comprimido por un compresor y condensa al enfriarse, y
- equipos de refrigeración por absorción: aquí, el gas es absorbido por agua y más tarde es expulsado nuevamente por calentamiento.

10.3.1.3 Principio de operación de la refrigeración

Hemos visto en el contexto de la generación de vapor (ver Sección 10.2.2) que la temperatura de ebullición del agua depende de la presión y que aumenta con el incremento de presión. Para evaporar completamente el agua debe proveerse, además, una determinada cantidad de calor, que es el calor de evaporación. Recién cuando todo se ha evaporado, en el caso de un suministro adicional de calor, se produce un calentamiento adicional, que es un sobrecalentamiento del vapor.

Estos fenómenos conocidos por nosotros valen por supuesto también para todos los otros líquidos y gases, pero con otros valores. Esto vale también para el amoníaco usualmente utilizado en la refrigeración.

A presión normal de 1 bar, el amoníaco se encuentra en estado gaseoso. A presión normal, sólo es líquido a temperaturas por debajo de -33,8°C. A temperaturas mayores, el estado líquido sólo se puede lograr por aumento de presión. Para evaporarlo, se debe suministrar calor del entorno (el medio a refrigerar) a la temperatura de evaporación deseada o bien a la correspondiente presión.

Temp.	Presión absoluta	Contenido de calor (entalpia) del líquido	de vapor	Calor de evaporación
en °C	en bar	h` en kJ/kg	h`` en kJ/kg	en kJ/kg
- 30	1,195	64,5	1422,5	1358,0
- 25	1,515	86,9	1429,7	1342,8
- 20	1,901	109,3	1436,6	1327,3
- 15	2,362	131,8	1443,2	1311,3
- 10	2,907	154,5	1449,4	1294,9
- 5	3,548	177,2	1455,2	1278,1

Temp.	Presión absoluta	Contenido de calor (entalpia) del líquido	de vapor	Calor de evaporación
en °C	en bar	h' en kJ/kg	h'' en kJ/kg	en kJ/kg
0	4,294	200,0 *	1460,7	1260,7
5	5,158	222,9	1465,9	1243,0
10	6,150	245,9	1470,6	1224,7
15	7,284	269,0	1474,9	1205,9
20	8,573	291,4	1479,0	1187,6
25	10,030	314,9	1482,4	1167,5
30	11,669	338,5	1485,3	1146,8

* La entalpia h' para 0°C es establecida arbitrariamente para evitar valores negativos. Si el valor se establece en 500, todos los valores h deben ser incrementados en 300 kJ/kg.

10

La tabla de vapor para amoníaco informa respecto de los valores necesarios para esto: el amoníaco hierve a la presión que corresponde a la temperatura indicada. Para la evaporación completa se requiere el correspondiente calor de evaporación. Esto es representado como curva en la Figura 10.6b. En el caso del amoníaco, sin embargo, la curva del desarrollo de la presión es muy extendida y se asemeja a una espada corva, dado que el punto crítico se encuentra a tc 132°C y pc 113 bar. Éstos son valores que se encuentran muy por fuera del rango representado. Es por ello que la curva se representa siempre acortada logarítmicamente (log p), de manera que las potencias de diez (0,1; 1; 10; 100) se encuentren a iguales distancias en la escala.

El rango que es relevante para nosotros en el caso del equipo de refrigeración se encuentra entre -10°C de temperatura de evaporación y +35°C en la salida del condensador. Todos los demás rangos son de menor importancia para nuestras consideraciones.

En la Figura 10.6b se muestra una sección del diagrama presión/entalpía (diagrama log p,h) para amoníaco; la curva (roja) A es la línea del líquido saturado (temperatura de ebullición) e indica el contenido de calor del líquido; la curva (roja) B es la línea del vapor saturado e indica su contenido de calor. Dado que el diagrama sería muy extendido si se representaran todos los valores del contenido de calor hasta aproximadamente 1.600 kJ/kg, se omitieron muchos valores intermedios. Pero esto no es importante para la comprensión.

10.3.1.3.1 Circulación en el equipo de refrigeración

Comencemos con un ejemplo: si se introduce amoníaco líquido a - 10°C y una presión de 2,907 bar (presión manométrica = 1,907 bar) (ver Tabla) en un sistema de recipientes, el

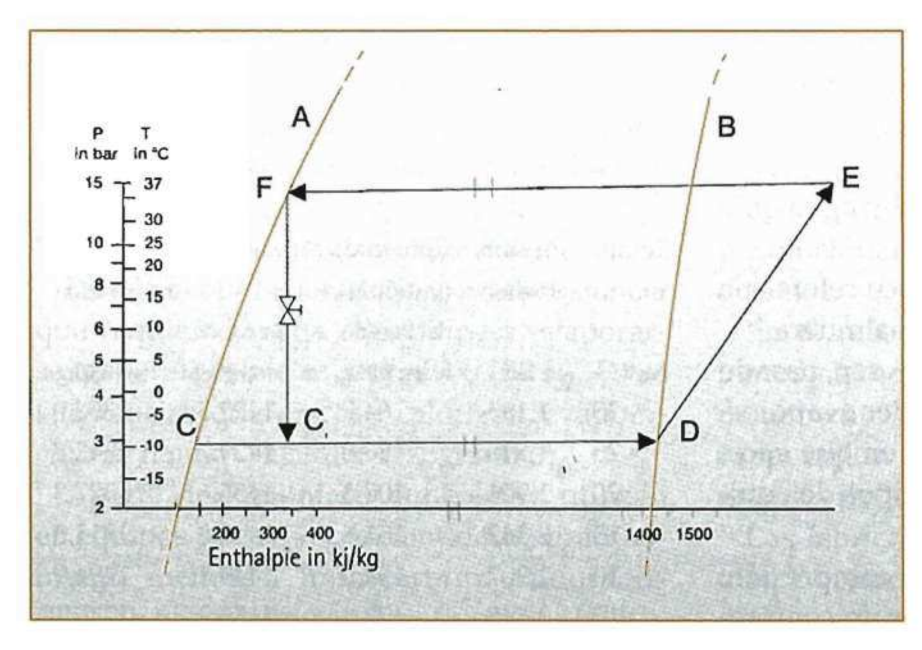


Figura 10.6b
Principio de operación de un equipo de refrigeración por compresión
(A) línea del líquido saturado, (B) línea del vapor saturado
C-D capacidad de refrigeración, D-E compresión, E-F condensación, F-C retorno del condensado, C-C1 capacidad de refrigeración no utilizable

amoníaco comienza a hervir y se evapora en el caso de suministro adicional de calor. Este calor lo extrae de su entorno que de esta manera se enfría inevitablemente. Este intercambio de calor ocurre en evaporadores o en los tubos o camisas de refrigeración, que están soldados a los tanques cilindrocónicos (ver al respecto Figura 4.42a). En tanto que el amoníaco en evaporación mantiene su temperatura y sólo cambia el estado de agregación de líquido a gaseoso, el entorno, es decir, el contenido del tanque, se enfría. Por otro lado, el contenido de calor (la entalpía) del amoníaco ha aumentado en el valor equivalente al contenido de calor del vapor menos el contenido de calor del líquido (1449,4 - 154,5), es decir, en 1294,9 kJ/kg. Esto corresponde al tramo de C a D en la Figura 10.6b.

Al alcanzar la línea B (roja), finaliza la evaporación porque ahora se ha evaporado todo el amoníaco. Pero, si ahora se le suministra más energía al amoníaco evaporado, se forma vapor sobrecalentado a presión constante, cuya entalpía aumenta con esto (al respecto ver la Tabla):

- 10°C	1449,4 kJ/kg
- 5°C	1455,2 kJ/kg
0°C	1460,7 kJ/kg
5°C	1465,9 kJ/kg

Dado que el amoníaco debe ser reutilizado, se lo debe volver al estado líquido. Para la licuación, el amoníaco se comprime. En este proceso aumentan la presión y la entalpía del gas, el cual se calienta fuertemente (tramo D - E). Esta compresión es la parte de la refrigeración que tiene un gran requerimiento de energía.

El amoníaco comprimido y caliente debe ser pasado luego nuevamente al estado líquido por medio de enfriamiento. Se emplean para esto condensadores. Por lo general, los condensadores son sistemas de tubos, a través de los cuales fluye el amoníaco, en tanto que por fuera son rociados con agua fría, y el amoníaco se enfría con ello. El efecto refrigerante aumenta por medio del uso de ventiladores.

Tan pronto como la temperatura del condensador ha alcanzado la línea del líquido saturado (F), el amoníaco está condensado y nuevamente en estado líquido. El amoníaco líquido es descargado ahora al evaporador a través de una válvula de estrangulación que sólo permite pasar amoníaco líquido. En esto, la entalpía se mantiene en el mismo valor –es por ello que la línea de F a C1 es vertical hacia abajo. Al mismo tiempo, sin embargo, se ve que la diferencia de entalpía C - C1 no está disponible para el circuito refrigerante, sino solamente C1 - D.

Posibilidades de ahorro de energía en la refrigeración

Si se quiere ahorrar energía, se debe examinar en qué puntos del diagrama presión/contenido de calor (diagrama log p,h) se puede realizar cambios. Existen para ello tres posibilidades básicas:

- reducción de la diferencia de presión entre evaporador y condensador,
- separación de los circuitos de refrigeración según la temperatura de evaporador y
- subenfriamiento del amoníaco en el condensador.

10.3.1.3.2 Reducción de la diferencia de presión entre evaporador y condensador

El consumo de energía es determinado en primer lugar por la diferencia de presión (D - E), la que tiene que ser vencida permanentemente por el compresor. Es por ello que se trata de mantener tan baja como sea posible la diferencia entre la presión correspondiente a la temperatura del evaporador y la correspondiente a la temperatura del condensador.

A temperaturas de evaporador más altas corresponden también presiones más altas (al respecto ver Tabla):

A 2,410 bar = 1,410 bar(m) hierve a - 15°C

A 2,966 bar = 1,966 bar(m) hierve a - 10°C

A 3,619 bar = 2,619 bar(m) hierve a - 5°C.

Debido a la mayor presión en el evaporador a mayor temperatura de evaporador, el compresor debe realizar menor trabajo durante la compresión. De este modo se reduce la potencia eléctrica necesaria para el accionamiento (Figura 10.6c) (C2-D2-E2-F2). Por principio rige entonces [269]:

- 1K menos de temperatura de condensador ahorra 2..2,5% de potencia de accionamiento,
- 1K más de temperatura de evaporador ahorra 3...3,5% de potencia de accionamiento.

De este modo es posible aumentar considerablemente la capacidad de refrigeración del equipo y reducir el requerimiento energético, dado que se puede reducir considerablemente el tiempo de marcha del compresor.

Se debe tratar de utilizar la refrigeración directa por evaporación para el agua, el mosto y la cerveza, dado que se puede trabajar con mayores temperaturas de evaporación, en comparación con la refrigeración indirecta por medio de un refrigerante secundario (por ejemplo, glicol).

En la refrigeración directa sólo es necesario un intercambio de calor ($\Delta\delta \approx$ 3..4K). En el caso de la refrigeración indirecta es el doble (6...8K). De esto resulta que la refrigeración indirecta requiere a causa de la menor temperatura de evaporación ($\Delta\delta \approx$ 3..4K x ≈ 3%/K) = 9... 12% más de energía eléctrica.

10.3.1.3.3 Separación de los circuitos de refrigeración según la temperatura de evaporador

En la mayoría de las fábricas de cerveza, el amoníaco es aspirado de un único evaporador. La temperatura más baja necesaria determina entonces la temperatura de evaporación (por ejemplo -10°C ó - 15°C). Pero el requerimiento de refrigeración es muy diferenciado: mientras en un lugar se necesitan sólo -5°C, en otro se necesitan-10° ó -15°.

Si es posible, se separan los circuitos de refrigeración según la temperatura necesaria de evaporador y la presión se reduce tanto como sea necesario. De esta manera es posible mantener la temperatura de evaporación en el correspondiente evaporador tan alta como sea posible y reducir con esto el consumo de energía. Sin embargo, en este caso se

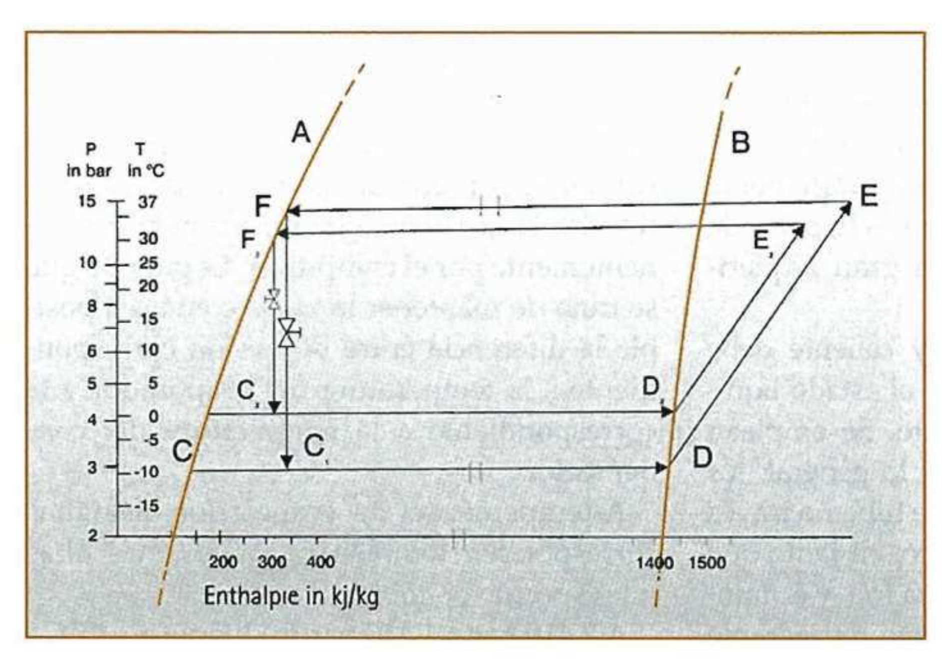


Figura 10.6c
Reducción de la diferencia de presión entre evaporador y condensador
Explicación en el texto

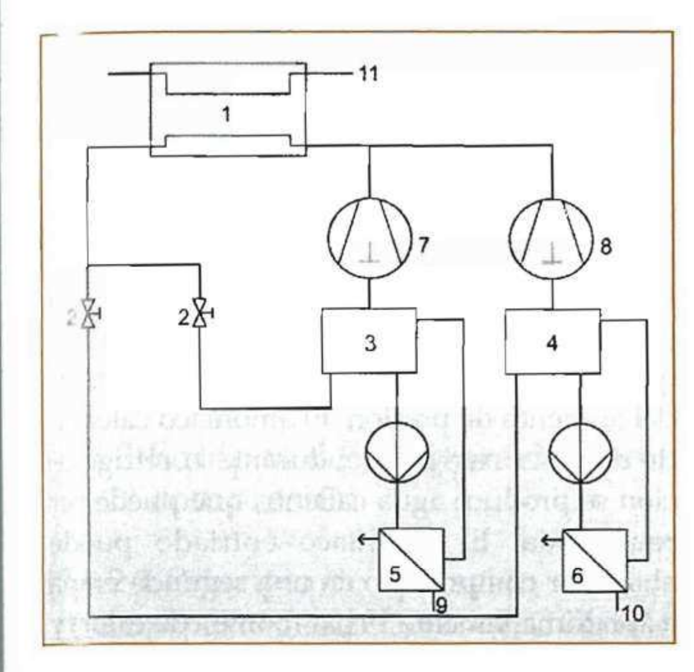


Figura 10.6d
Separación de los circuitos de refrigeración según la temperatura de evaporador
Explicación en el texto

debe operar, para cada circuito, un compresor individual que aumente la presión del amoníaco comprimido al mismo nivel que los otros compresores (Figura 10.6d)

10.3.1.3.4 Subenfriamiento del amoníaco en el condensador evaporativo

La condensación del amoníaco finaliza al alcanzar la línea (roja) A. Con ello está dada también la base para el tramo de evaporación C1 - D en el evaporador. Ahora se está interesado en continuar subenfriando el amoníaco, porque entonces el tramo de condensación se corre por la línea A, hacia la izquierda (Figura 10.6e). De esta manera se obtiene un mayor potencial de evaporación (de C` a C1) en el evaporador y se mejora la capacidad del equipo. El enfriamiento adicional ocurre en condensadores evaporativos en combinación con torres de enfriamiento, en las cuales el agua calentada es enfriada nuevamente. La temperatura del agua permanece casi constante. Por medio de superficies de intercambio de calor más grandes, toberas más finas y caudales menores (Figura 10.6f), se puede obtener, a través de una mejor refrigeración interna, una temperatura de agua de circulación que se encuentra aproximadamente 10K por debajo de la temperatura de condensación del amoníaco [270]. Con esto se puede lograr un subenfriamiento del amo-

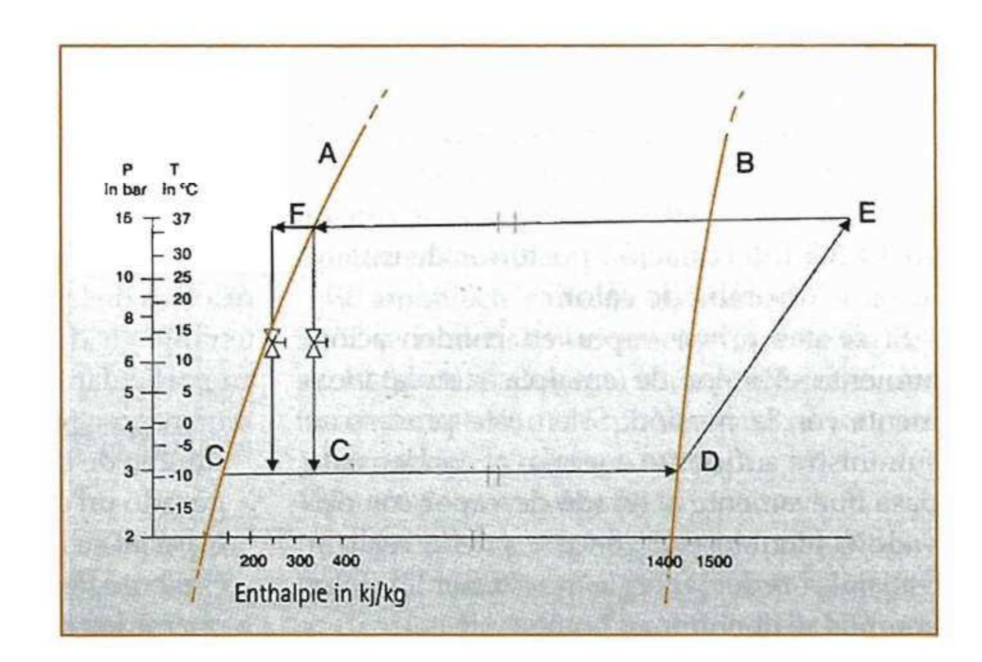


Figura 10.6e
Subenfriamiento del amoníaco en el condensador

níaco ya líquido. Esto está limitado en verano debido a temperaturas del aire y humedad del aire elevadas.

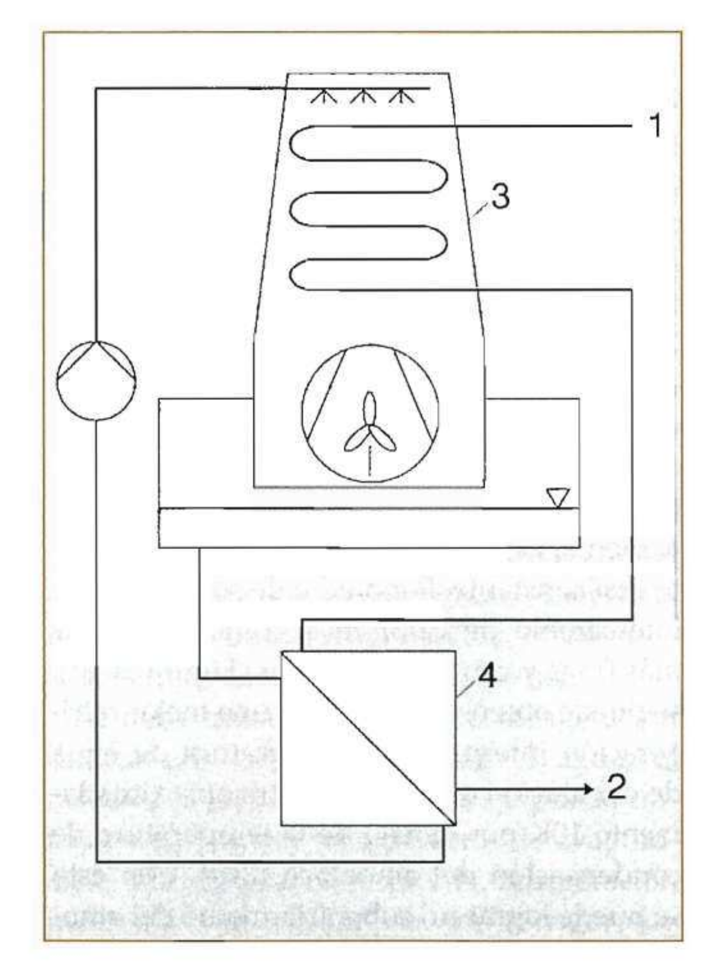


Figura 10.6f
Subenfriamiento del amoníaco por medio de agua de circulación
(1) amoníaco del compresor, (2) amoníaco al órgano de estrangulamiento, (3) condensador con rociado, (4) intercambiador de calor adicional para el subenfriamiento

10.3.1.3.5 Intercalación posterior de una bomba de calor

Si se comprime vapor en condensación, aumenta el valor de entalpía simulatáneamente con la presión. Si en este proceso se suministra suficiente energía, el condensado pasa nuevamente al estado de vapor con elevado contenido energético y puede realizar trabajo y ceder energía nuevamente. Tales equipos se denominan bombas de calor.

La planta compresora de vahos en la sala de cocción (ver Sección 3.4.2.5.2) es en principio una bomba de calor, dado que en ella los vahos son comprimidos por medio de un soplante Roots y pasan con ello a ser nuevamente vapor con capacidad de intercambio de calor a mayor temperatura. Esto vale también para el compresor del equipo de refrigeración, que incrementa el valor de entalpía a través del aumento de presión. El amoníaco calentado debe ser refrigerado; durante la refrigeración se produce agua caliente, que puede ser reutilizada. El amoníaco enfriado puede ahora ser comprimido en una segunda etapa a aproximadamente 19 bar (bomba de calor) y por ello se calienta fuertemente. El vapor caliente de amoníaco puede ser condensado por medio de agua de circulación de la planta de calentamiento. Subsecuentemente, el condensado producido puede ser enfriado con agua industrial, la que a su vez se calienta a raíz de ello a aproximadamente 50°C, con lo cual se le puede dar un uso ulterior. Aunque en este caso se deba emplear energía eléctrica en forma de accionamiento para la segunda compresión, se logra que haya disponible más calor para calentamiento en forma de agua caliente que lo requerido como energía.

Sin embargo, los costos operativos de un equipo de bomba de calor son tan altos que esta solución teórica no es aplicada en la práctica.

10.3.1.3.6 Otras posibilidades de ahorro de energía

Otras posibilidades de ahorro de energía resultan de la forma de operación y del mantenimiento de los equipos de refrigeración; en particular se debe:

- mantener limpias las superficies de intercambio de calor de manera tal que esté asegurado un óptimo intercambio de calor. En especial se debe eliminar depósitos de crecimiento de microorganismos (*biofouling*),
- operar los equipos de refrigeración con un

anque acumulador de compensación, desde el cual se puedan compensar los picos de energía y

- minimizar las pérdidas de energía por medio de aislaciones térmicas eficaces. Las aislaciones contra el frío deben ser equipadas con una barrera contra la difusión de vapor de agua (cierre de vapor) (ver también Secciones 10.3.5 y 4.4.2.2.5).

10.3.2 Equipos de refrigeración por compresión

10.3.2.1 Principio de operación

Los equipos de refrigeración en las fábricas de cerveza son generalmente equipos de refrigeración por compresión. De acuerdo con el principio de operación que hemos detallado previamente, el equipo de refrigeración por compresión está compuesto por cuatro dispositivos, que se encuentran conectados entre sí por tuberías (Figura 10.7):

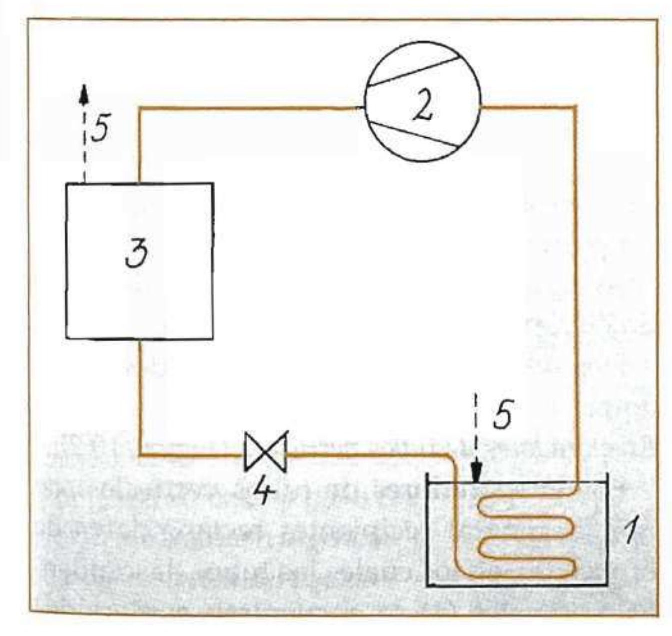


Figura 10.7
Equipo de refrigeración por compresión (esquema)
(1) evaporador, (2) compresor, (3) condensador, (4) válvula de expansión, (5) energía térmica

Evaporador (1):

El amoníaco líquido es introducido en el evaporador y se evapora aquí –en dependencia de los requerimientos– a temperaturas entre -4 y -10°C. El calor de evaporación necesario es extraído del entorno, el cual se enfría debido a ello. Para esto, el sistema de tubos o placas del evaporador

- está sumergido en salmuera o solución de glicol, o
- forma un acumulador de hielo en el agua por el congelamiento del agua alrededor de los tubos del evaporador.

Este tipo de refrigeración se denomina "refrigeración indirecta" porque al punto donde se necesita la refrigeración no se bombea el amoníaco frío, sino el refrigerante secundario (la solución de glicol o el agua fría).

Si el evaporador se encuentra allí donde se necesita la refrigeración, se habla de "refrigeración directa". Esto ya ha sido detallado al tratar la refrigeración de los tanques cilindrocónicos (ver Sección 4.4.2.2).

La refrigeración directa a través de evaporación directa de NH_3 está hoy en día cada vez más difundida.

Compresor (2):

El gas amoníaco frío es aspirado por el compresor y comprimido a 8 a 10 bar (m). Debido a ello se aumenta la temperatura del NH_3 comprimido a 80 a 90°C.

El compresor es propulsado eléctricamente y es la máquina con el mayor requerimiento de energía en la fábrica de cerveza.

Condensador (3):

El amoníaco caliente es enfriado a 20 a 30°C y condensa nuevamente en este proceso. El condensador está construido como sistema de tubos o de placas para un mejor intercambio de calor.

Válvula de expansión (4):

La válvula de expansión separa el evaporador del condensador. Sólo permite el ingreso de una determinada cantidad de NH_3 en

el evaporador e impide una compensación de presión entre el evaporador y el condensador, la cual causaría que la capacidad frigorífica de la máquina descienda a cero.

El desarrollo de la temperatura y la presión dentro del equipo de refrigeración por compresión es como sigue, por ejemplo:

	Temperatura en °C	Presión manom. en bar	Energía térmica
evaporador	+25 a -5	2	requerim. de energía
compresor	-5 a +80	2 a 10	energía mecánica
condensador	+80 a +25	10	cesión de energía
válvula de expansión	+25	10 a 2	-

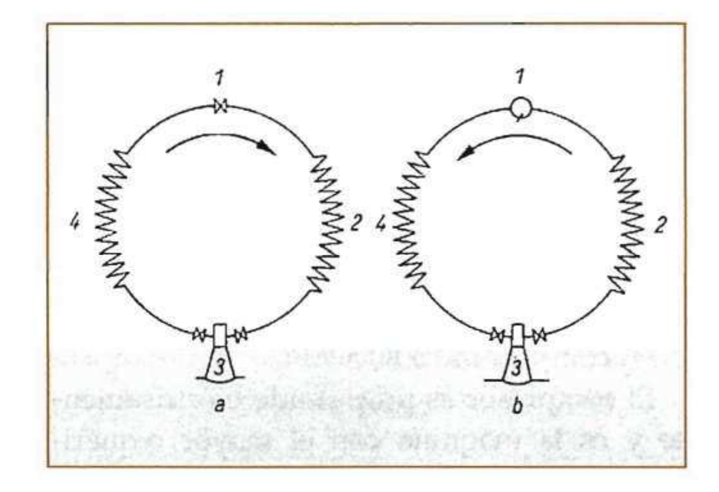


Figura 10.8
Flujo de energía
(a) circuito del equipo de refrigeración por compresión
(1) válvula reguladora, (2) evaporador, (3) compresor, (4) condensador

(b) circuito de la planta de vapor
(1) bomba de alimentación de caldera, (2) condensador, (3) máquina de vapor, (4) caldera

Si se compara el flujo de energía de un equipo de refrigeración por compresión con una planta de potencia por vapor, se observa que ambos equipos trabajan de forma exactamente inversa (Figura 10.8).

	Utilización	Cesión
planta de vapor	calor	energía mecánica
equipo de refrigeración por compresión	energía mecánica	calor de baja temperatura es llevado a alta temperatura

El equipo de refrigeración por compresión es por ello al mismo tiempo una bomba de calor.

10.3.2.2 Evaporadores

Los evaporadores son construidos de las más diversas formas. Existen así evaporadores de tubos verticales, evaporadores de casco y tubo, evaporadores de tubos aletados, evaporadores de serpentines, evaporadores de placas (intercambiadores de calor de placas, tipo especial), evaporadores lamelares, etc.

El principio básico de todos los evaporadores consiste en que el amoníaco líquido se evapora en los tubos o láminas. En este proceso extrae el calor de evaporación del líquido circundante o del aire ambiente.

Dos de estos evaporadores son descriptos aquí:

Evaporadores de tubos verticales (Figura 10.9):

Los evaporadores de tubos verticales son por lo general recipientes rectangulares de hormigón, en los cuales los tubos descendentes verticales (4) se encuentran sumergidos en la salmuera o la solución de glicol. El amoníaco (3) líquido suministrado se evapora en los tubos verticales (6) y es conducido, a través de un separador de líquido (8), al

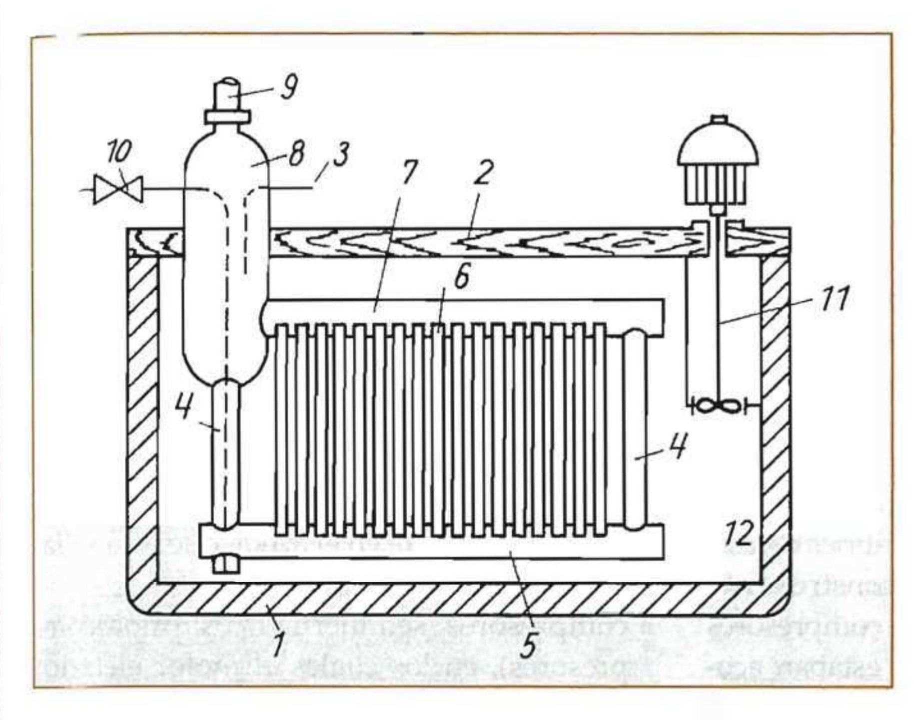


Figura 10.9
Evaporador de tubos verticales (tipo constructivo antiguo)
(1) recipiente evaporador (con aislación), (2) cubierta, (3) tubería de inyección, (4) tubo descendente, (5) tubo colector de líquido, (6) tubos evaporadores, (7) tubo colector de vapor, (8) separador de líquido, (9) tubería de aspiración, (10) separación de aceite, (11) agitador de salmuera, (12) salmuera

10

compresor (9). Muchos evaporadores disponen también de un agitador (11) que favorece el intercambio de calor por el movimiento.

Evaporador de casco y tubos (Figura 10.10):

En los tipos constructivos más nuevos, el NH_3 es distribuido por medio de un tubo rociador y se evapora, en tanto que la salmuera es refrigerada en los tubos. Las ventajas de este tipo constructivo son:

- mejor transferencia de calor (más pequeño, más barato),
- más fácil de regular,
- menor evaporación ulterior en el caso de una parada abrupta,
- menor cantidad de NH_3.

Un tipo constructivo especial de los evaporadores de casco y tubos son los refrigeradores de agua helada (ver Sección 10.3.2.5).

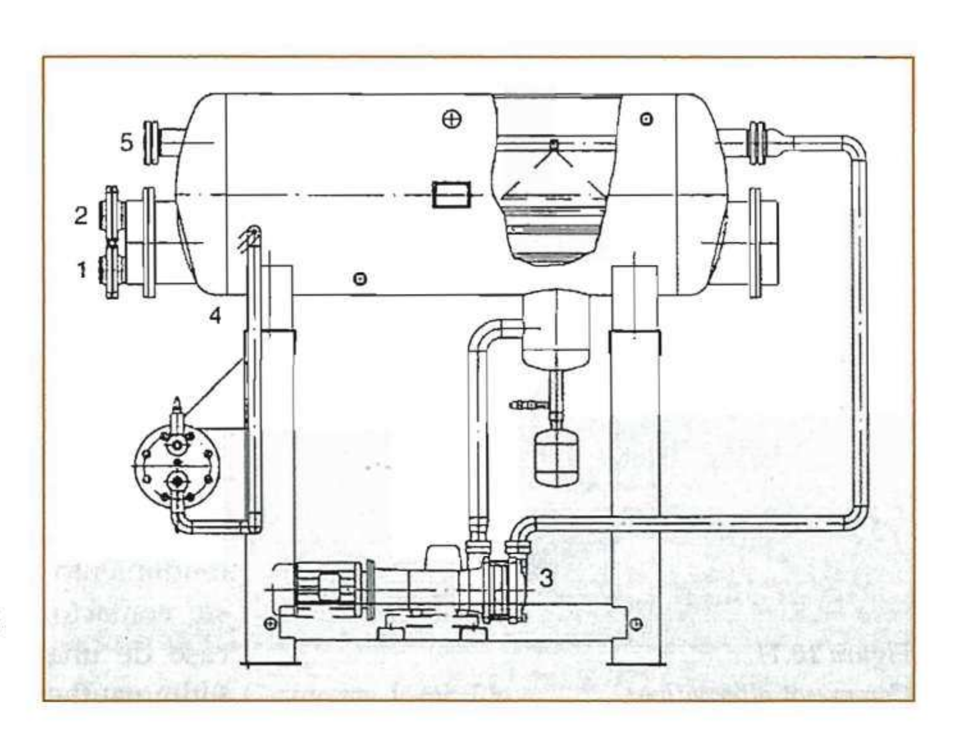


Figura 10.10
Evaporador de casco y tubos con rociado por agente refrigerante para refrigeración del líquido
(1) entrada de salmuera
(2) salida de salmuera
(3) bomba de circulación de NH_3
(4) separación de aceite
(5) NH_3 al compresor

10.3.2.3 Compresores

El compresor tiene la tarea de comprimir el gas frío NH_3. Se emplean para ello diferentes tipos de compresores:

- compresores alternativos,
- compresores de tornillo,
- compresores de pistón rotativo excéntrico,
- compresores rotativos de paletas o
- turbocompresores.

Compresores alternativos:

10 El compresor alternativo es el tipo constructivo más antiguo utilizado en la fábrica de cerveza. Estos compresores se construyeron durante mucho tiempo como compresores horizontales de marcha lenta y estaban acoplados frecuentemente a la máquina de vapor. Hoy en día se usan preferentemente compresores verticales de marcha rápida con un rango de potencia de 100.000 a 300.000 kJ/h.

La compresión es realizada en estos compresores por el pistón en movimiento alternativo en combinación con las válvulas de cierre y apertura. Así, el amoníaco es calentado en el compresor alternativo a 90 a 100°C.

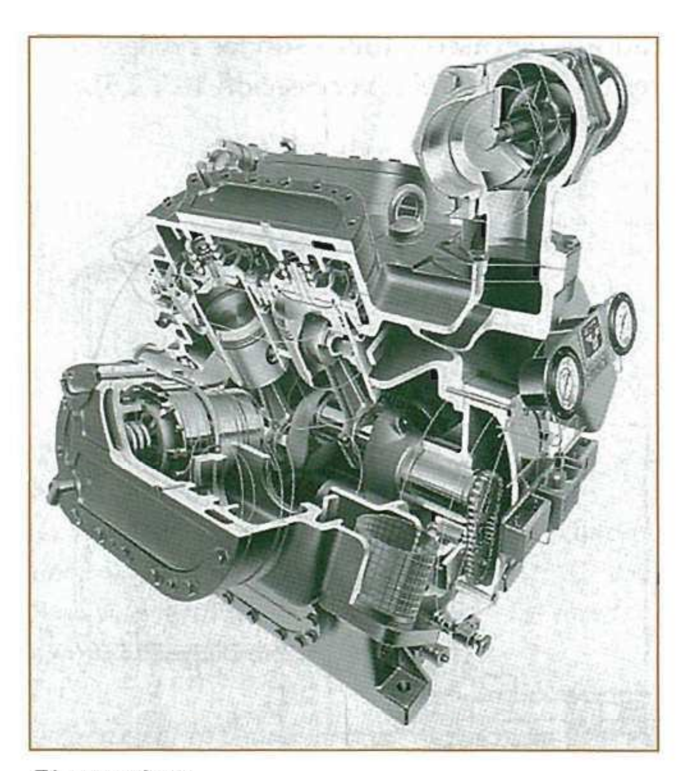


Figura 10.11
Compresor alternativo

Los compresores alternativos tienen generalmente varios cilindros, cuyos pistones están acoplados a un cigüeñal común a todos (Figura 10.11). El bloque del compresor está separado por paredes divisorias en cárter de cigüeñal, cámara de aspiración y cámara de presión.

Estos compresores se clasifican en:

- compresores que tienen un bloque cerrado, el que se encuentra bajo presión del agente refrigerante; el accionamiento ocurre externamente en el árbol, que está sellado contra pérdidas de NH_3,
- compresores semiherméticos (motocompresores), en los cuales el motor eléctrico se encuentra ubicado junto con el compresor en una carcasa común atornillada, y
- compresores herméticos, en los cuales el motor y el compresor se hallan ubicados en una carcasa herméticamente cerrada y soldada (compresor encapsulado, heladera doméstica).

Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo (Figura 10.12) consisten en dos tornillos que engranan uno en otro (tornillo macho y tornillo hembra), los cuales descargan la corriente de gas contra la carcasa ajustada estrechamente sobre los mismos. Dado que sólo efectúan un movimiento rotatorio, el transporte que realizan es continuo y poseen suavidad de marcha; además no necesitan válvulas y tampoco son sensibles frente a la presencia de líquido. Debido a esto también son de regulación continua; esa es la razón de que sean utilizados cada vez más, en especial en las fábricas de cerveza de mayor tamaño (Figura 10.13). Sin embargo, los compresores a tornillo trabajan muy ruidosamente. Si se los regula, el rendimiento disminuye. Dado que trabajan sin contacto, tienen deslizamiento y, en el caso de una regulación de velocidad, este último aumenta de forma desproporcionada

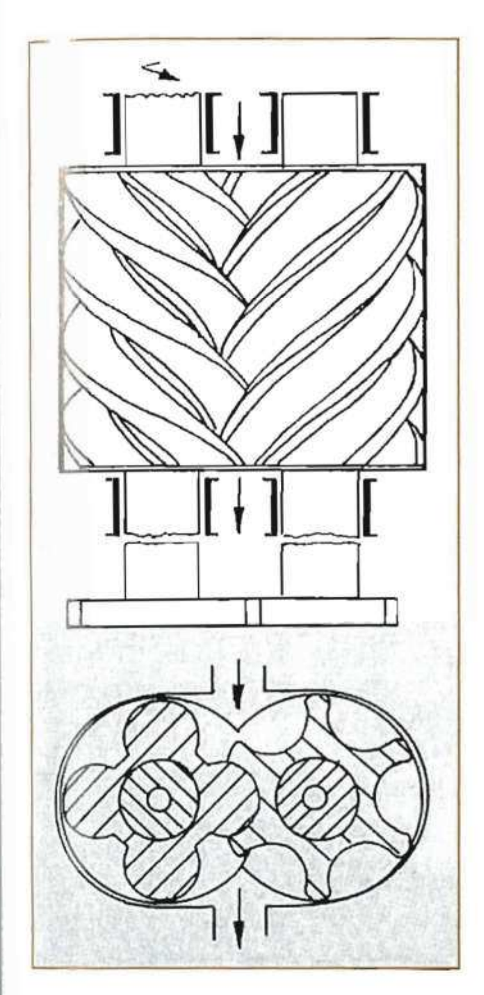


Figura 10.12 Compresor de tornillo (principio de operación)

en relación con el caudal útil.

El deslizamiento es reducido por aceite. El aceite sella ambos tornillos recíprocamente y enfría simultáneamente el agente refrigerante (mejora del rendimiento).

Compresores de pistón rotativo excéntrico

En estos compresores, la compresión ocurre por medio de un pistón que está montado excéntricamente sobre un eje y que rueda por la pared interior del cilindro circular. La separación entre el lado de aspiración y el de presión ocurre por medio de una o varias paletas deslizantes en el cilindro.

Compresores rotativos de paletas

En el compresor rotativo de paletas, la compresión es realizada por un pistón rotativo dispuesto excéntricamente, en el cual se encuentran varias paletas que son presionadas contra la pared del cilindro por la fuerza centrífuga. Se forman de esta manera células de compresión individuales (compresor multicelular) (Figura 10.14). Los compresores rotativos de paletas son apropiados para grandes caudales con diferencias de presión reducidas; es por ello que se los utiliza frecuentemente como etapa de baja presión en el caso de compresión de dos etapas.

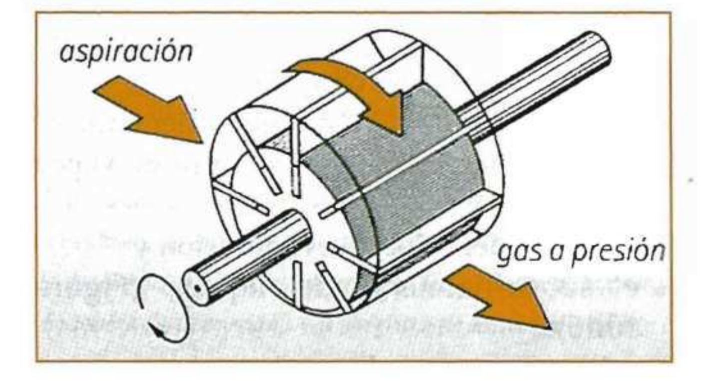


Figura 10.14: Compresor rotativo de paletas

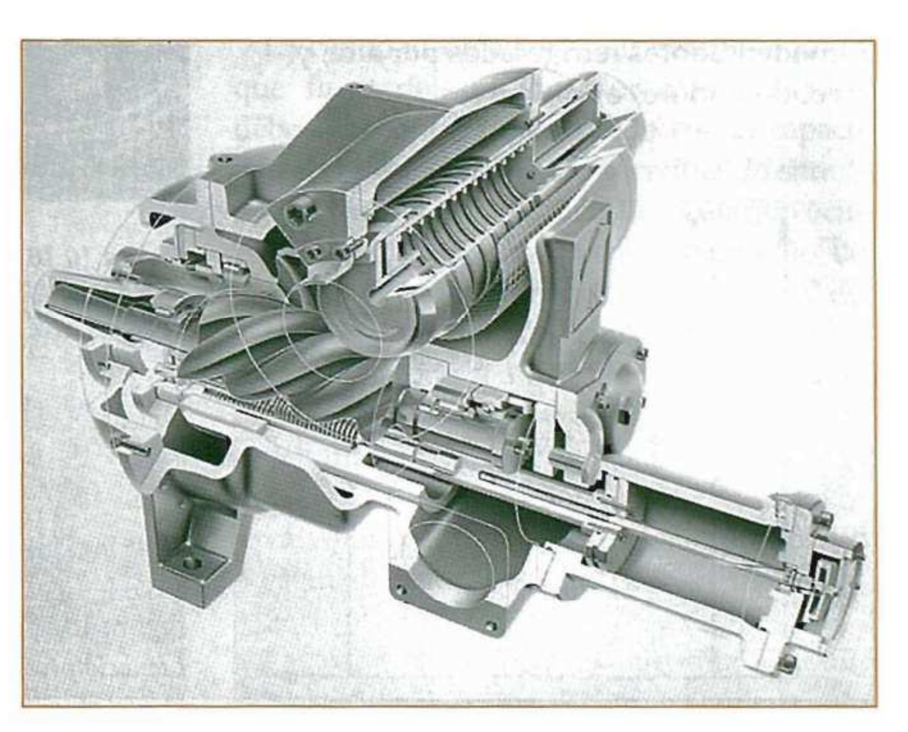


Figura 10.13: Compresor de tornillo

Turbocompresores

En el caso de los turbocompresores, la compresión ocurre por aceleración del flujo de gas en el rodete y posterior conversión de la energía cinética en incremento de presión en el difusor.

Los turbocompresores son empleados en instalaciones frigroríficas muy grandes, las que rara vez son usadas en las fábricas de cerveza.

10.3.2.4 Condensador

10

Los condensadores son intercambiadores de calor, en los cuales el calor absorbido por el agente refrigerante (calor de evaporación y calor de compresión) es cedido a un medio refrigerante (aire o agua). El proceso de licuación consiste en tres etapas:

- la extracción de calor de sobrecalentamiento hasta alcanzar la temperatura de vapor saturado,
- la cesión del calor de evaporación y
- el subenfriamiento del líquido (Figura 10.15).

Existen tres grupos de condensadores:

- condensadores de circulación o refrigerados por agua, o
- condensadores refrigerados por aire, y
- condensadores evaporativos.

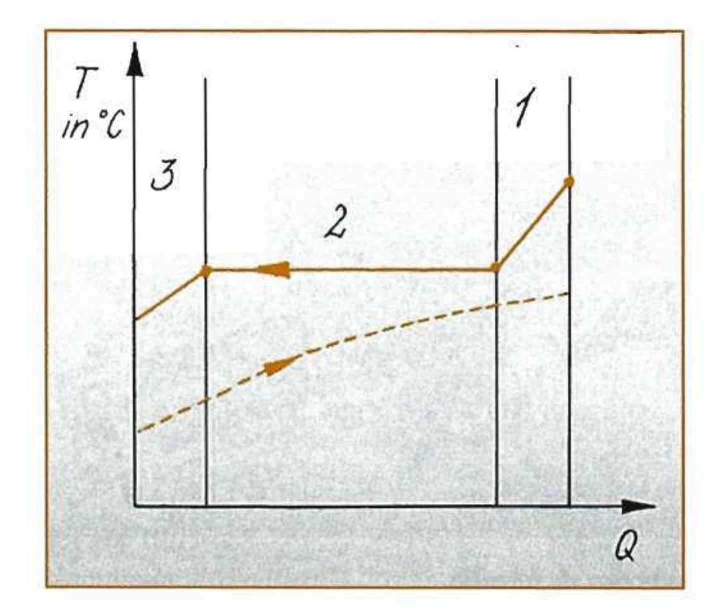


Figura 10.15
Licuación (condensación)
(1) extracción de calor de sobrecalentamiento, (2) condensación, (3) subenfriamiento

Condensadores refrigerados por agua

El tipo constructivo más frecuente es el de los condensadores de casco y tubos. Consisten en un cilindro horizontal con placas de tubos en ambos extremos, a las que se encuentran soldados los tubos internos (Figura 10.16).

Los condensadores de casco y tubos son de construcción sencilla y relativamente fáciles de limpiar. Se los utiliza cuando se dispone de grandes cantidades de agua en forma económica (derechos de agua en lagos o ríos).



Figura 10.16
Condensador de casco y tubos
(Foto Th. Witt Kältemaschinen, Aachen)

Condensadores refrigerados por aire

Están fomados básicamente como sistema de tubos aletados. Dado que el aire tiene un reducido coeficiente de tramisión térmica, se lo guía a través de las aletas o laminillas por medio de ventiladores. Los tubos aletados están generalmente dispuestos de forma horizontal.

Condensadores evaporativos

Si en un condensador refrigerado por aire se rocía adicionalmente agua, entonces la capacidad de refrigeración aumenta considerablemente debido a la evaporación del agua, porque también se extrae el calor de evaporación.

Es por ello que los condensadores evaporativos trabajan con circulación de agua y suficiente exceso de agua (Figura 10.17). Como desventaja tienen los problemas de ensuciamiento debido al rociado de agua en una corriente de aire abierta.

La cantidad de agua necesaria para la condensación es considerable. El agua se calienta debido al agente refrigerante, pero se enfría por evaporación. En dependencia de la humedad del aire exterior se establece una tenperatura de aproximadamente 25°C, aun con temperaturas de aire exterior más elevadas.

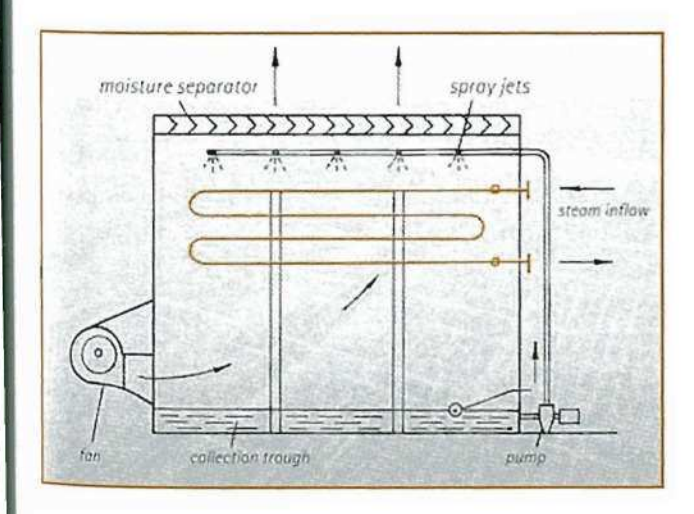


Figura 10.17
Condensador evaporativo

Para disminuir el gasto específico de energía se puede continuar enfriando el agente refrigerante en un intercambiador de calor (subenfriamiento).

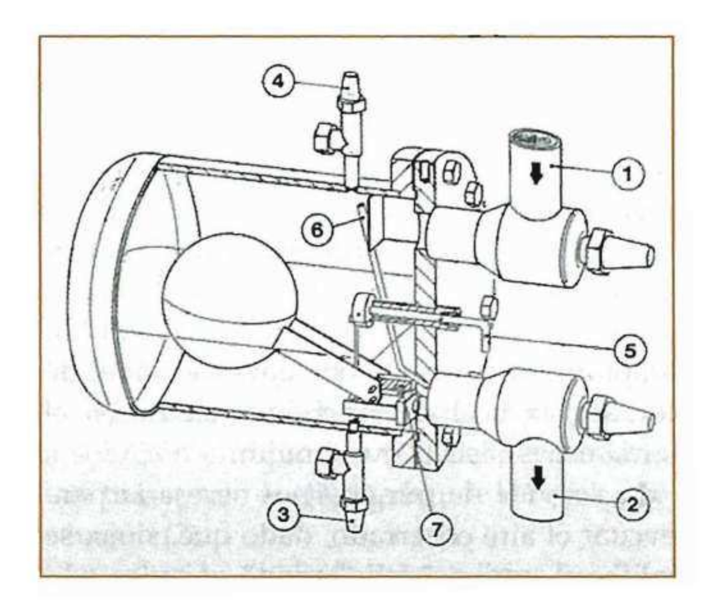


Figura 10.18
Regulador de flotador de alta presión
(1) válvula de entrada, (2) válvula de salida, (3) válvula de descarga, (4) válvula de purga, (5) palanca de bypass, (6) tobera de depresión, (7) abertura de estrangulación

10.3.2.5 Vávula de regulación

La cantidad de agente refrigerante líquido que fluye del condensador al evaporador debe ser regulada de acuerdo con la capacidad de refrigeración, pero permitiendo simultáneamente la expansión. Esta regulación ocurre hoy en día generalmente por medio de válvulas de regulación automáticas.

Usualmente se utilizan para ello válvulas de flotador, que son denominadas, de acuerdo con el lugar de conexión:

- válvulas de flotador de alta presión si están del lado de alta presión (condensador) o
- válvulas de flotador de baja presión si están del lado de baja presión (evaporador).

La válvula de flotador de alta presión (Figura 10.18) contiene como elemento de regulación una bocha flotante, que flota en el

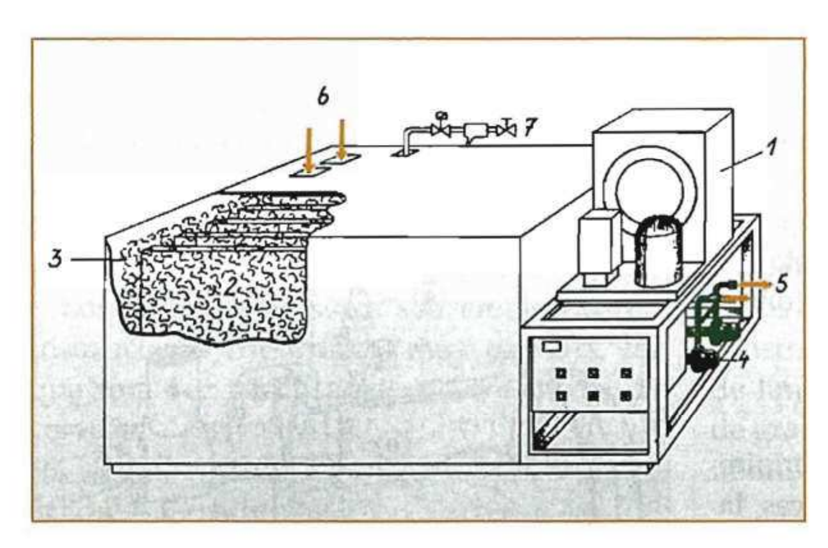


Figura 10.19
Unidad de acumulación de agua helada
(1) equipo de refrigeración
(2) placas de intercambio de calor
(3) agua helada
(4) bombas de agua helada
(5) agua helada para propósitos de refrigeración
(6) entrada del agua calentada
(7) suministro de agua

10

amoníaco líquido. Al descender el nivel de líquido, la bocha desciende y cierra así el suministro hacia el evaporador.

La válvula de purga (4) es necesaria para evcuar el aire encerrado, dado que, si no, se inhibe el suministro de líquido.

10.3.2.6 Unidad de acumulación de agua helada (Figura 10.19)

Por unidad de acumulación de agua helada se entiende un tanque en el que se refrigera agua dulce (agua industrial) a 0°C o menos. La refrigeración es realizada por un equipo frigorífico propio (1) o por el amoníaco de la planta de refrigeración. El intercambio de calor ocurre aquí a través de placas (2) o tubos dentro de los cuales fluye el agente refrigerante. El agua es movida a lo largo de las placas o los tubos por medio de una bomba (4) y se congela así lentamente formando una capa de hielo de espesor creciente alrededor de las placas o los tubos (Figura 10.20).

Consecuentemente se produce también, aparte del agua helada a 0 a 1°C, un acumulador de frío que puede ser generado en horario nocturno como reserva: el agua helada extraída se calienta durante el pasaje a través del intercambiador de calor de placas o de los tubos de refrigeración, y retorna levemente calentada al acumulador de frío. Allí se enfría debido a la capa de hielo, en tanto que ésta se derrite lentamente.

Se trata de obtener una capa de hielo con un espesor máximo de 30 a 35 mm; si la capa de hielo es demasiado gruesa o el espesor de hielo crece hasta que éste se junta entre los serpentines, la temperatura de evaporación desciende y empeora el rendimiento.

El agua helada se utiliza para la refrigeración de las cubas y de los tanques de fermentación y para la posrefrigeración en el enfriador de placas. Las fábricas de cerveza que hacen sólo un cocimiento por día pueden



Figura 10.20
Unidad de acumulación de agua helada
Pileta de agua helada subdividida, con tubos de refrigeración
(Foto Th. Witt Kältemaschinen, Aachen)

cubrir así una parte substancial de sus requerimientos de refrigeración utilizando suministro eléctrico nocturno a tarifa económica.

Es por ello que las unidades de acumulación de agua helada se encuentran sobre todo en las fábricas de cerveza pequeñas y medianas.

10.3.3 Equipo de refrigeración por absorción

En el caso del equipo de refrigeración por absorción, se prescinde del compresor. En lugar de éste se utilizan tres dispositivos:

el absorbedor, el cambiador de temperatura y el hervidor.

El condensador, la válvula de regulación y el evaporador son los mismos que en el equipo de refrigeración por compresión.

Principio de funcionamiento del equipo de refrigeración por absorción (Figura 10.21).

A través de la válvula de regulación (6), el amoníaco líquido llega al evaporador (1) y extrae el calor necesario de evaporación del entorno. En el absorbedor (2) intercalado detrás hay agua. El agua tiene una fuerte tendencia a absorber gas amoníaco y, tanto más, cuanto menos saturada se encuentra la solución. Debido a la absorción permanente de gas, la solución se enriquece. El calor de disolución producido es evacuado por refrigeración. El amoníaco disuelto es purgado nuevamente en el hervidor (4), por medio de calentamiento a 120°C, y licuado nuevamente en el condensador (5). El calentamiento se realiza por vapor y en plantas de menor tamaño también por medio de gas o electricidad. Debido a la evaporación de amoníaco en el hervidor, la solución se "empobrece". La solución "pobre" (12) debe ser transportada del hervidor al absorbedor, en tanto que en el hervidor se debe quitar el amoníaco de la solución enriquecida (11) del absorbedor. Este transporte es efectuado por la bomba de solución (7).

10

La solución "pobre" del hervidor necesita estar fría en el absorbedor. Por medio de un intercambiador de calor (= cambiador de temperatura (3)) intercalado, la solución "rica" es calentada por la solución "pobre", la cual se enfría de esta manera.

Las máquinas frigoríficas por absorción no son usuales en la fábrica de cerveza. Se las

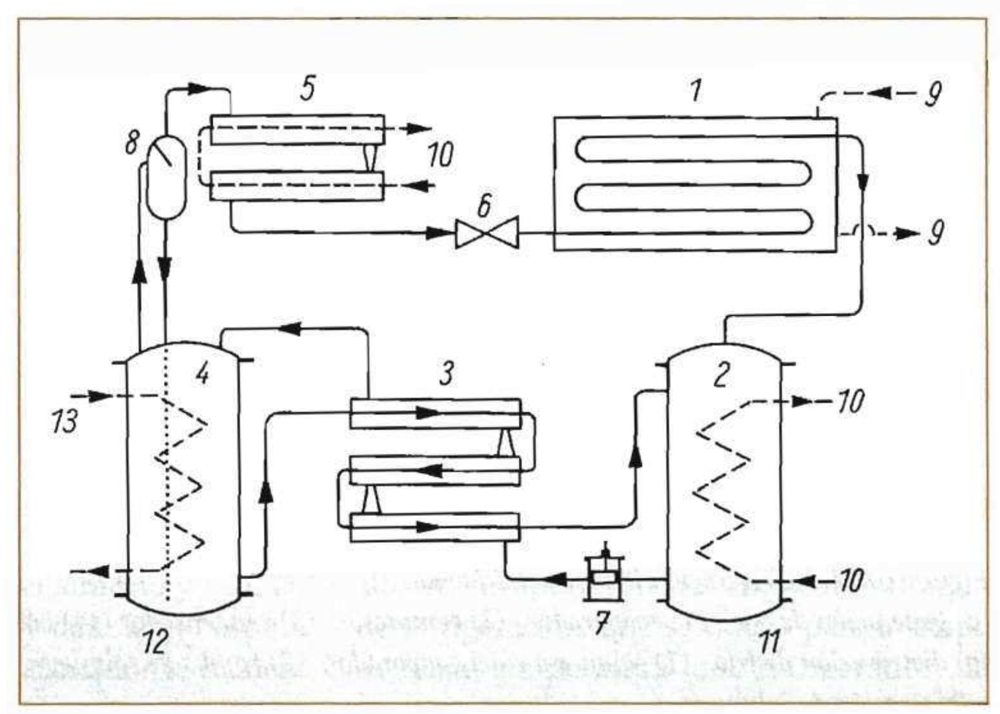


Figura 10.21
Equipo de refrigeración por absorción (esquema)
(1) evaporador
(2) absorbedor
(3) intercambiador de calor (cambiador de temperatura)
(4) hervidor
(5) condensador
(6) válvula reguladora
(7) bomba de solución
(8) separador de líquido
(9) salmuera
(10) agua de refrigeración
(11) solución rica
(12) solución pobre
(13) vapor de calentamiento

utiliza sobre todo para heladeras porque no requieren mantenimiento alguno para su operación.

10.3.4 Refrigeración ambiental y de líquidos

La refrigeración ambiental y de líquidos es realizada en las fábricas de cerveza dependiendo de su tamaño y de la disposición del equipamiento.

10.3.4.1 Refrigeración de bodegas convencionales de fermentación y reposo

Hemos visto que hoy en día es cada vez más usual refrigerar de forma directa. Pero además hay muchas fábricas de cerveza que refrigeran sus salas indirectamente por medio de salmuera.

En la refrigeración indirecta (Figura 10.22) hay entonces

- un circuito de generación de frío (a) y
- un circuito de distribución de frío (b).

Si bien para este principio de refrigeración de la salmuera se tiene un circuito doble, están también las siguientes ventajas:

- en el caso de pérdidas de estanqueidad no puede ingresar amoníaco a los ambientes de trabajo,
- el evaporador representa un acumulador de refrigeración para el cual se puede aprovechar el suministro de corriente eléctrica nocturna y el cual es útil si hay requerimiento irregular de frío en la fábrica de cerveza.

Según la disposición de los tubos de salmuera se distinguen dos grupos de refrigeraciones:

Refrigeración estacionaria

Los sistemas de refrigeración a través de los cuales fluye la salmuera están ubicados en el cielo raso de la sala a refrigerar (por ejemplo: bodega de reposo, sala de envasado, depósitos de almacenamiento). Dado que el aire refrigerado desciende, se forma en esa sala un circuito natural de frío.

Los tubos de refrigeración son la parte más fría de la sala a refrigerar. Es por ello que la humedad del aire ambiente condensa y forma hielo sobre éstos, en tanto que el aire ambiente se seca progresivamente.

La capa de hielo sobre los tubos de refrigeración representa una cierta reserva de frío, que tiene efecto aun después de que la refrigeración es desconectada. Sin embargo, el hielo aisla los tubos e inhibe de esta manera el intercambio de calor.

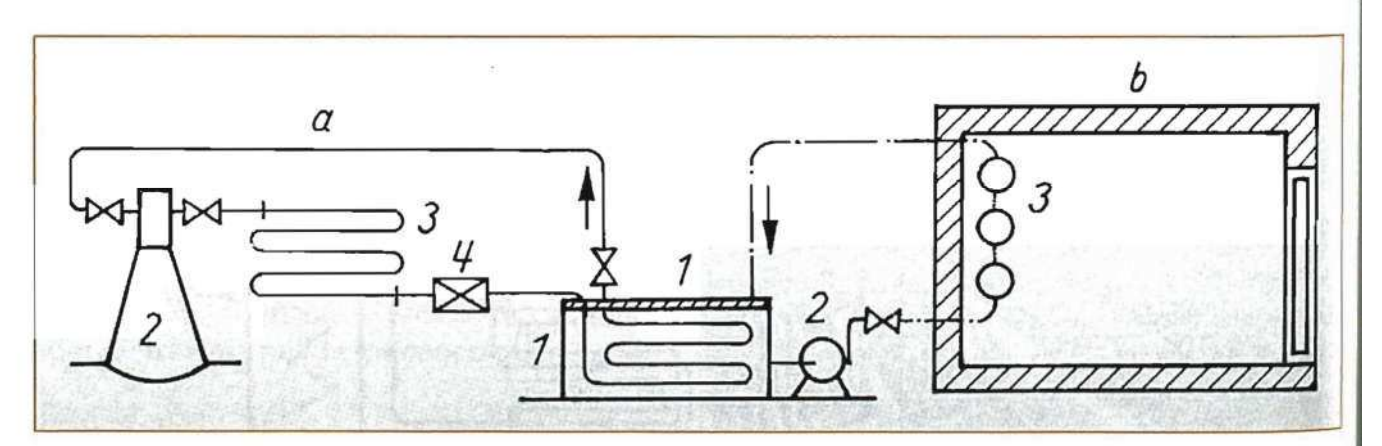


Figura 10.22: Refrigeración indirecta (esquema)
(a) generación de frío, (1) evaporador, (2) compresor, (3) condensador, (4) válvula reguladora,
(b) distribución de frío, (1) salmuera en el evaporador, (2) bomba de salmuera, (3) sistema de tuberías de refrigeración de salmuera

Es por ello que se tiene la precaución de descongelar regularmente la capa de hielo. Los tubos descongelados transmiten el frío un 25% mejor que los que tienen una capa espesa de hielo. Luego de la desconexión de la refrigeración, los tubos se descongelan, y el agua de condensación gotea hacia abajo.

Si el agua de condensación gotea sobre los recipientes, se forman pronto bandas molestas de herrumbre que requieren ser cubiertas con una nueva capa de pintura. Por este motivo, el tendido de los tubos de refrigeración se hace de manera tal que el agua de goteo no pueda gotear de ninguna manera sobre los recipientes o se coloca una canaleta de drenaje debajo de los tubos.

Refrigeración por recirculación de aire

En la cava de fermentación se prefiere, por motivos de higiene, no colocar los tubos de refrigeración en la cava misma, sino que, en lo posible, se los ubica en una cámara cercana de refrigeración (Figura 10.23).

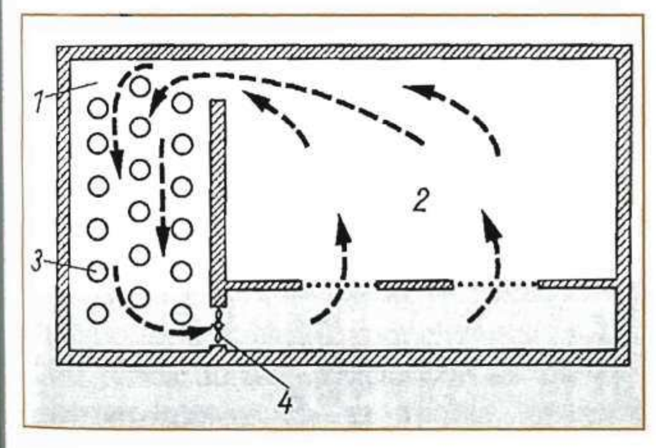


Figura 10.23
Refrigeración por recirculación de aire (esquema)
(1) cámara de refrigeración, (2) sala a refrigerar, (3) tubos de salmuera, (4) ventilador

Un ventilador inyecta el aire frio y seco en la cava de fermentación y también lo aspira. El ventilador está dimensionado de manera tal que pueda recircular el contenido de aire de la cava de fermentación 4 a 6 veces por hora. A los efectos de prevenir enfermedades reumáticas, la velocidad del aire deberá mantenerse por debajo de 0,5 m/s. El requerimiento de frío en el caso de la refrigeración por recirculación de aire es algo mayor que en el de la refrigeración estacionaria, porque la potencia motriz del ventilador también es convertida en calor. Como tubos de refrigeración se usan tubos lisos o aletados. En el caso de los tubos aletados, la superfice de éstos está aumentada artificialmente, y se garantiza de este modo una mayor superficie de contacto con el aire ambiente.

Como consecuencia del aumento de superficie en los tubos aletados resulta que los sistemas de refrigeración con tubos aletados pueden ser realizados de mucha menor longitud que los de tubos lisos, que a veces alcanzan a tener 200 m de longitud.

La refrigeración estacionaria y la refrigeración por circulación de aire se encuentran hoy en día sólo en pequeñas bodegas o en cervecerías de pub.

10.3.4.2 Plantas de refrigeración modernas

Las plantas de refrigeración modernas se construyen hoy en día como plantas centralizadas de refrigeración por NH_3, a las que se conectan todos los consumidores de frío de la fábrica de cerveza, incluyendo la planta de recuperación de CO_2 (Figura 10.24).

Dado que, por motivos económicos, se trabaja hoy en día casi siempre con diferentes temperaturas de evaporación, las plantas modernas de refrigeración poseen en su mayoría también varios evaporadores.

El amoníaco líquido se halla en el colector de NH_3. Es ahora conducido al refrigerador de agua para cerveza a los efectos de enfriar allí, por evaporación del amoníaco, el agua de refrigeración, que se utiliza para la etapa de baja temperatura del refrigerador de mosto, a 1 a 2°C, o se lo conduce al separador

Figura 10.24
Planta de refrigeración centralizada (Empresa Huppmann, Kitzingen). Explicaciones en el texto

de NH_3. Desde este último, el amoníaco líquido es introducido con aproximadamente -6°C en los tubos de refrigeración de los tanques cilindrocónicos y allí se evapora. Si se refrigeran los tanques cilindrocónicos de forma indirecta, el amoníaco se evapora en un evaporador y enfría así el glicol que es bombeado a través de los tubos de refrigeración. En ambos casos se retorna el vapor sobrecalentado de NH_3 (rojo) al separador de NH_3.

El vapor de NH_3 es aspirado ahora por los compresores y comprimido a 11 a 12 bar. Debido a la compresión, el NH_3 es calentado

- a 70 a 90°C, en el caso de compresores de tornillo,
- a 90 a 110°C, en el caso de compresores alternativos.

Los compresores se conectan y desconectan de forma automática a fin de obtener una utilización uniforme de los mismos.

En los condensadores intrecalados detrás -en la ilustración, éstos son los tres condensadores evaporativos dobles–, el gas caliente de amoníaco es enfriado y licuado nuevamente por el agua que se encuentra en evaporación (verde), de manera tal que al final puede fluir nuevamente a aproximadamente 25°C al colector de NH_3 y quedar disponible para una nueva circulación.

En la figura no se muestran los otros puntos de distribución, en los cuales el amoníaco se evapora y, de este modo, le quita calor al entorno; éstos incluyen, por ejemplo:

- los tubos de refrigeración de los tanques cilindrocónicos,
- el refrigerador de circulación de casco y tubos para el enfriamiento de cerveza a baja temperatura,
- el refrigerador de casco y tubos para la refrigeración del agua para cerveza,
- el refrigerador de casco y tubos para refrigerar el glicol, para la refrigeración del tanque de levadura y del tanque de presión,
- los refrigeradores de agua helada.

En las plantas modernas de refrigeración también está integrada en ellas la licuación del CO_2 (ver Sección 4.4.8). Una bomba de NH_3 líquido transporta amoníaco líquido y frío al condensador de NH_3 de la planta de refrigeración para la licuación del CO_2. Por motivos de seguridad, el equipo de refrigeración en cascada trabaja en el circuito de amoníaco separado de la planta de refrigeración por NH_3. También posee un compresor propio (que no se muestra aquí) y el condensador de CO_2 como evaporador.

10.3.4.3 Refrigeración de líquidos

En diferentes puntos es necesario enfriar el mosto o la cerveza en circulación. En particular, esto es

- el enfriamiento del mosto caliente a la temperatura de inicio de fermentación,
- el enfriamiento de la cerveza luego de la fermentación principal,
- el enfriamiento de la cerveza a baja temperatura, previo a la filtración, etc.

El enfriamiento se realiza por medio de

- enfriadores de placas (con juntas), en el caso de refrigeración indirecta, o
- enfriadores de tubos (soldados), en el caso de refrigeración directa.

Si se dispone de agua de pozo a 12°C, se puede refrigerar el mosto caliente con un enfriador de placas hasta aproximadamente 3 K por encima de esa temperatura; es decir, a aproximadamente 15°C. No es posible enfriar a una temperatura más baja, porque el agua de pozo no es más fría y con el intercambio de calor también queda siempre una pequeña diferencia residual de temperatura. Por ello, si se quiere enfriar a una temperatura de inicio de fermentación de aproximadamente 8°C, se debe utilizar agua fría a una temperatura máxima de 4 a 5°C. Para el enfriamiento de agua de pozo de 12°C a 4 a 5°C se necesita, sin embargo, energía eléctrica.

Para el enfriamiento hay dos posibilidades:

- enfriamiento en una etapa o
- enfriamiento en dos etapas.

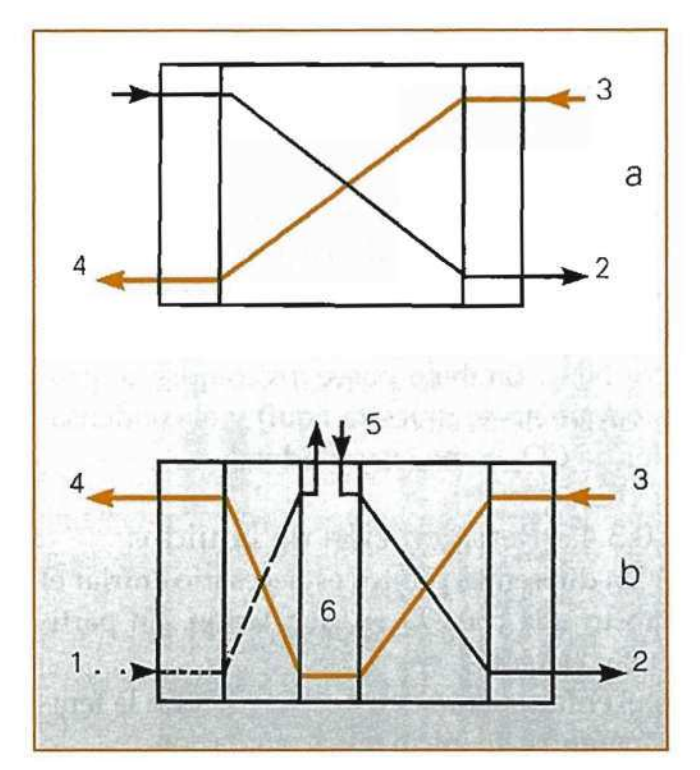


Figura 10.26
Enfriamiento de mosto con enfriador de placas (a) enfriamiento en una etapa, (b) enfriamiento en dos etapas,
(1) agua de refrigeración a 4°C, (2) agua caliente a 80°C, (3) mosto caliente a 98°C, (4) mosto enfriado a 8°C, (5) agua para cerveza a 12°C, (6) placa de inversión

10

Enfriamiento en una etapa (Figura 10.26, a)

Se introduce el mosto caliente a aproximadamente 98°C, que es enfriado a temperatura de inicio de fermentación de 8°C, por medio de agua en contracorriente, refrigerada a 4°C. El agua de refrigeración se calienta así a aproximadamente 80°C y se la puede utilizar ulteriormente como agua caliente. Aumentando el tamaño del enfriador de placas se puede incrementar la temperatura del agua caliente hasta 94 a 95°C. Esta agua caliente se puede almacenar en el tanque acumulador de energía (ver Sección 3.4.2.6.3) para propósitos de calentamiento.

Por ello, para poder refrigerar en una etapa, toda el agua de refrigeración será enfriada primeramente de aproximadamente 12°C a 4°C o menos. De esto resulta una capacidad de refrigeración de

(12°C -4°C) × cantidad total de agua de refrigeración × capacidad térmica específica

Este requerimiento de energía es relativamente grande.

Enfriamiento en dos etapas (Figura 10.26, b)

Aquí, el mosto caliente es enfriado, por medio de agua de pozo que se encuentra a 12°C, en la sección de preenfriamiento, la cual es de mayor tamaño. Para esto no se necesita energía, porque el agua de pozo está disponible a esa temperatura. Pero se necesita más agua de refrigeración que en el enfriamiento en una etapa.

En la subsiguiente sección de enfriamiento a baja temperatura, que es de menor tamaño, el mosto preenfriado se enfría ahora a la temperatura de inicio de fermentación de 8°C por medio de agua refrigerada a 4°C.

La ventaja del enfriamiento en dos etapas consiste en que se necesita capacidad de refrigeración solamente para la producción de la cantidad mucho menor de agua refrigerada a 4°C.

La capacidad de refrigeración necesaria para ello es entonces la que corresponde únicamente para la cantidad de agua para enfriamiento a baja temperatura en la segunda etapa de enfriamiento.

En este proceso, la capacidad de refrigeración necesaria en el enfriador de dos etapas es tanto menor cuanto más baja sea la temperatura de transferencia en la placa de inversión (6).

La ventaja resultante de ello es que no se requiere capacidad de refrigeración para alcanzar la temperatura del agua de pozo, porque se aprovecha el potencial existente del agua de pozo. Aunque al mosto se le extrae en ambos casos la misma cantidad de calor, los enfriadores de dos etapas necesitan

por ello una capacidad de refrigeración más reducida que los de una etapa.

Para la segunda etapa se emplean también a veces refrigeradores de haces de tubos con evaporación directa de amoníaco.

Debido al reducido requerimiento de agua, muchas fábricas de cerveza utilizan enfriadores de una etapa porque, por otro lado, se requiere un intercambiador adicional de calor para la refrigeración del agua para cerveza y un tanque acumulador para el agua helada. Para esto se necesitan una regulación de temperatura, bombas y válvulas.

En el caso del enfriador de una etapa se requiere menos agua, pero más frío; en el de dos etapas se necesita menos frío, pero para eso más agua de refrigeración.

La decisión respecto de qué es lo más favorable para la empresa debe ser tomada teniendo en cuenta todos los criterios relevantes (sobre todo en lo referente a los costos de frío y de agua).

10.3.5 Consejos para la operación económica de la planta de refrigeración

Generación de frío

Dado que la planta de refrigeración es por lejos el mayor consumidor de energía eléctrica, se debe pensar siempre en operarla eficientemente.

Para ello es necesario que el compresor alcance permanentemente el grado de compresión establecido, en dependencia del consumo de frío. Esto ocurre a través de un dispositivo de control (presostato), el cual, en caso de baja temperatura de aire exterior o reducido consumo de frío, mantiene siempre la presión de condensación al nivel de la presión de diseño sacando de servicio superficies del condensador.

En la actualidad se utilizan preferentemente plantas centralizadas de refrigeración para evaporación directa de NH_3. Puesto que en el lado de aspiración del compresor se necesitan diferentes temperaturas de evaporación, se trabaja con reguladores de presión de aspiración que mantienen el nivel de presión más bajo. De esta manera, los compresores operan permanentemente entre la presión de aspiración más baja y la presión de condensación más alta.

La potencia motriz es reducida

- en 2,5% con cada K menos de temperatura de condensación,
- en 3% con cada K más de temperatura de evaporación.

Debido a las diferentes temperaturas y grados de utilización de la planta, resultan condiciones permanentemente cambiantes, las cuales pueden, sin embargo, ser medidas y relacionadas entre sí. De esto resulta la posibilidad de una optimización de planta que sea programable y controlada por ordenador, la cual ya es empleada hoy en día en muchas fábricas de cerveza. Dado que la planta de refrigeración es el mayor consumidor de energía eléctrica, las inversiones hechas para ahorrar energía eléctrica se amortizan rápidamente.

En la cocción del mosto hemos visto que el aire en el vapor disminuye considerablemente la capacidad de cocción; el mismo efecto se presenta cuando entra aire a la planta de refrigeración:

Ya reducidas cantidades de aire en el amoníaco hacen crecer considerablemente la presión de licuación y reducen el rendimiento de la planta de refrigeración.

Distribución de frío

En el trabajo en salas de refrigeración se debe prestar atención a lo siguiente:

Las puertas y ventanas deben mantenerse cerradas en las estaciones calurosas del año. En invierno se puede aprovechar la temperatura exterior más fría abriendo las puertas de las salas de refrigeración. Las paredes y las puertas deben estar aisladas térmicamente de la mejor manera. Es recomendable interrum-

pir diariamente por varias horas la refrigeración de las salas a los efectos de descongelar los tubos de refrigeración y eliminar la capa de hielo. Por medio de grandes cantidades de salmuera en las tuberías se realiza una mejor acumulación de frío. Los tubos lisos tienen un mayor contenido de salmuera que los aletados. Dado que los espacios entre las aletas de los tubos aletados se congelan totalmente con frecuencia, su eficacia es afectada considerablemente. En las salas refrigeradas a bajas temperaturas, tales como bodegas de reposo, se utilizan por ello generalmente tubos lisos. Los tubos aletados quedan restringidos a las cavas de fermentación, las salas de envasado, etc. Por medio de una ocupación intensiva de las bodegas se ahorra espacio de refrigeración. En las secciones no ocupadas no se emplea la refrigeración.

10.4 Equipos eléctricos

Una parte substancial del abastecimiento energético de la fábrica de cerveza es realizada con energía eléctrica.

Debido a la fácil disponibilidad, la energía eléctrica es el recurso energético ideal y se la utiliza en la fábrica de cerveza en todas partes, siempre que no convenga emplear recursos energéticos más económicos.

10.4.1 Suministro de energía eléctrica

La generación de energía eléctrica se realiza preponderantemente en centrales eléctricas. En Alemania se generó en el año 1992 (118):

el 29,6% de la electricidad a partir de energía nuclear,
el 28,9% a partir de lignito bruto,
el 26,6% a partir de hulla,
el 6,0% a partir de gas natural,
el 3,9% por medio de centrales hidroeléctricas,
el 2,2% a partir de fueloil y
el 2,8% por medio de otras fuentes de calentamiento, como incineración de basuras.

Las centrales hidroeléctricas y las eólicas son las más racionales desde el punto de vista ecológico, pero en la situación geográfica de Alemania sólo tienen una muy reducida participación en la generación de energía.

En todas las centrales eléctricas, la energía eléctrica es generada por medio de generadores de corriente, en los que se transforma energía mecánica (movimiento rotatorio) en energía eléctrica.

Un generador consiste en un estator fijo y un rotor en movimiento (rotatorio), y ambos están provistos de arrollamientos. A través de la rotación del rotor se induce en el estator una tensión que sigue una forma sinusoidal.

Para la generación de energía eléctrica se utilizan generadores que poseen tres arrollamientos, cada uno de los cuales, por su lado, está desplazado en 120°. De este modo se genera en cada arrollamiento una corriente, y los campos eléctricos correspondientes se solapan permanentemente; una corriente tal es llamada "corriente trifásica".

El suministro de energía eléctrica desde la central eléctrica se realiza mayormente todavía a través de conductores aéreos. Para el transporte de energía eléctrica con tensiones de hasta 10 a 20 kV, tal como se la produce en los generadores, se requerían conductores muy gruesos con grandes pérdidas por transmisión. Es por ello que la tensión es aumentada en la central eléctrica a 60 a 380 kV, por medio de transformadores, y se la transporta así a través de grandes distancias por conductores aéreos. Para el abastecimiento de ciudades, la tensión es reducida a 10 kV, por medio de transformadores en subestaciones transformadoras, y la energía eléctrica se transporta preferentemente por conductores subterráneos.

Las fábricas de cerveza también reciben en general su energía eléctrica en esta forma a través de uno o varios transformadores, que son alimentados con 10 ó 20 kV; la tensión de salida es 380 V. En otros países y continentes

son usuales tensiones muy diferentes, por ejemplo, frecuentemente suministros trifásicos de 660 V. Esta tensión puede ser utilizada como trifásica o con sólo una fase en forma de corriente alterna de 220 V.

Las empresas de suministro de energía le facturan a la fábrica de cerveza el consumo de energía activa en kWh; la energía reactiva debe ser pagada a partir del 50% de la potencia activa. Por ello es en interés de cada empresa compensar las corrientes reactivas que se generan inevitablemente. Para entender esto, hay que explicar primeramente el factor de potencia cos φ.

10.4.2 Factor de potencia cos φ

Dos corrientes alternas están en la misma fase si sus valores sinusoidales coinciden al mismo tiempo en los valores cero y en los valores extremos. Si estos estados no ocurren al mismo tiempo, estas corrientes se encuentran "desfasadas".

El tamaño del desfasaje se indica en grados angulares. En la realidad, el ángulo de desfasaje (φ) es el tiempo que la corriente precede a la tensión.

También puede producirse un desfasaje entre la intensidad de corriente y la tensión de una misma corriente alterna. Esto sucede siempre en el caso de carga inductiva; es decir, cuando una corriente alterna fluye a través de bobinas inductoras, tal como es el caso en motores de corriente alterna (Figura 10.27).

En las curvas de las ilustraciones se representa la misma corriente alterna con cargas inductivas de diferente magnitud:

1. La primera curva muestra la corriente no cargada, en la cual hay coincidencia de fases en lo que a intensidad de corriente y tensión se refiere. La línea punteada es la curva de potencia de esta corriente. La curva de potencia es el producto resultante de tensión por intensidad de corriente; la potencia activa promedio (n) es el eje que divide esta curva en dos mitades.
2. La segunda curva muestra una corriente cargada inductivamente. Como consecuencia del desfasaje, la curva de la potencia instantánea es negativa en aquellas partes en que la intensidad de corriente y la tensión son de signo diferente. La curva de potencia, y con ello la potencia activa promedio, desciende y

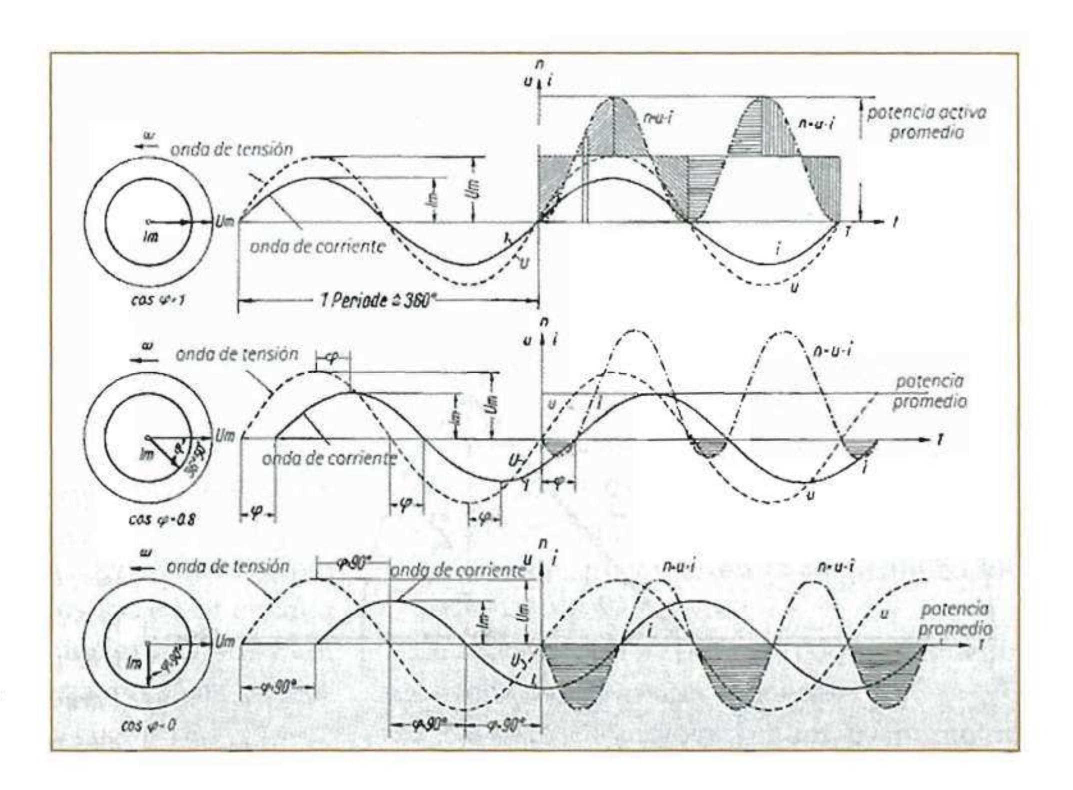


Figura 10.27
Curva de potencia con desfasaje

se acerca cada vez más al eje de tiempo.

3. La tercera curva muestra la corriente con carga puramente inductiva (φ = 90°). La intensidad de corriente y la tensión son de signo diferente durante la mitad del tiempo y la potencia activa promedio coincide con el eje de tiempo; es decir, que la potencia promedio es cero.

Los valores positivos de la curva de potencia (es decir, aquellos que se encuentran por encima del eje de tiempo) representan la potencia suministrada por el generador al consumidor. Los valores negativos (es decir, los valores rayados debajo del eje de tiempo) corresponden a la potencia que el consumidor cede al generador. En el caso de una carga puramente inductiva (φ = 90°), la energía oscila entonces entre generador y consumidor sin que se ceda alguna potencia útil hacia afuera.

Es por ello que todas las corrientes cargadas inductivamente, y con ello desfasadas, están reducidas en su potencia.

El tamaño de la reducción depende del desfasaje. En la Figura 10.28, la corriente desfasada está descompuesta en los componentes que permiten determinar la corriente activa.

La corriente efectiva se anota desplazada en un ángulo φ respecto de la tensión efectiva. El cateto opuesto indica la corriente reactiva y el adyacente, la corriente activa. Cuanto mayor es φ, tanto mayor es la corriente reactiva y tanto menor la corriente activa.

Expresado como función trigonométrica

Corriente activa $I_a = I \cdot \cos\varphi$ y

Potencia activa $P_a = U \cdot I \cdot \cos\varphi$,

en el caso de corriente trifásica,

$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$.

El factor cosf se llama (electrotécnicamente) factor de potencia. En el caso de un ángulo de desfasaje de φ = 0° es $\cos\varphi = 1$, mientras que en el caso de φ = 90° es $\cos\varphi = 0$.

La importancia económica del factor de potencia cos φ

Para poder suministrarle al consumidor una determinada potencia se necesita una corriente (I) tanto mayor cuanto menor sea el factor de potencia $\cos\varphi$.

Por ejemplo, si se debe transmitir 10 kW de potencia activa por medio de corriente alterna a 220 V de tensión, ¿cómo serán las intensidades de corriente con

1. $\cos\varphi = 0{,}8$, 2. $\cos\varphi = 0{,}4$?

$P_a = U \cdot I \cdot \cos\varphi$

$$I = \frac{P_a}{U \cdot \cos\varphi}$$

$$1.\ I = \frac{10\,000\ \text{W}}{220\ \text{V} \cdot 0{,}8} = 57\ \text{A}$$

$$2.\ I = \frac{40\,000\ \text{W}}{220\ \text{V} \cdot 0{,}4} = 114\ \text{A}$$

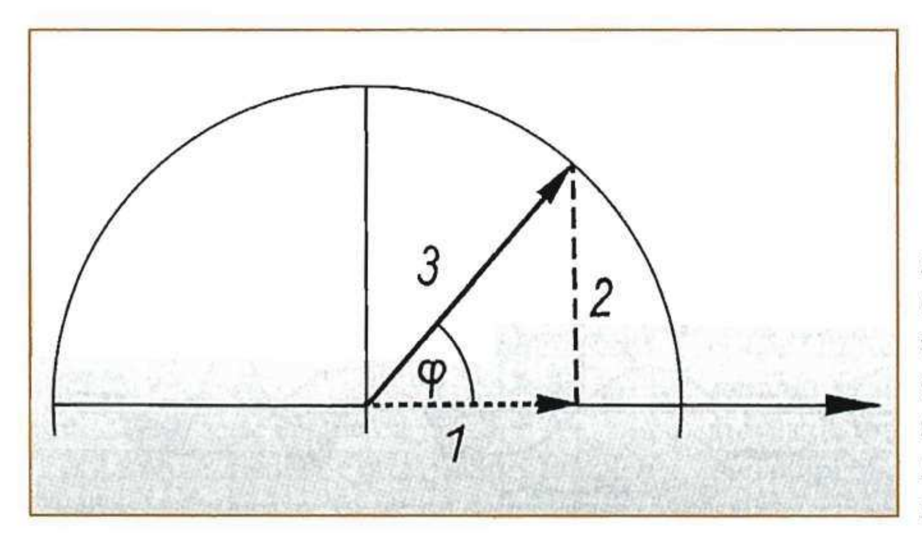


Figura 10.28
Corriente activa, corriente reactiva y corriente aparente
(1) corriente activa, (2) corriente reactiva, (3) corriente aparente
Para la potencia resultan las mismas relaciones.

Esto significa que, para la misma potencia activa, se debe insumir el doble de intensidad de corriente si el factor de potencia disminuye a la mitad.

Debido a los factores de potencia pobres en los motores eléctricos, se necesita entonces desproporcionadamente más corriente y se reduce con ello la rentabilidad de los equipos.

Aparte de ello, los conductores deben ser más gruesos en el caso de un cosφ pobre. Esto a su vez implica un mayor gasto de material conductor, que no es justificable, y también mayores pérdidas óhmicas.

En promedio se calcula un cosφ de 0,7 a 0,8. El factor de potencia puede ser leído fácilmente y en todo momento por medio de un medidor de cosφ incorporado.

Mejoramiento del factor de potencia cosφ

Un factor de potencia pobre es causado frecuentemente por el hecho de que motores y transformadores trabajan permanentemente con carga reducida. Con carga reducida, el cosφ es menor que con carga plena. Los motores que trabajan permanentemente con carga reducida deben ser reemplazados por motores que sean acordes con la potencia requerida.

Usualmente se utilizan condensadores de alta tensión para mejorar el factor de potencia. El condensador causa en el circuito de corriente alterna un avance de fase de la intensidad de corriente con respecto a la tensión del condensador. Estos condensadores, que están compuestos de dos placas metálicas delgadas, separadas únicamente por una capa aislante, actúan como corredores de fase estacionarios. Casi no producen pérdidas de energía y tienen bajos costos de adquisición.

Por lo general no se compensa por encima de cosφ = 0,9 porque el desfasaje por encima este valor es demasiado insignificante y un mejoramiento no aportaría ventajas prácticas.

10.4.3 Transformación de la corriente eléctrica

Hemos visto que la corriente eléctrica se suministra a la fábrica de cerveza como corriente trifásica con tres fases desplazadas una con respecto a otra. En esta forma, la corriente sólo es directamente utilizable por una parte de los motores y equipos.

En algunos lugares se requieren

- tensiones de 220 V, por ejemplo, para iluminación y aparatos pequeños.
- En algunas áreas, en las cuales no puede excluirse un contacto humano (lámparas de mano), la tensión baja de protección debe ser 42 V como máximo.
- Muchos motores operan hoy en día con corriente continua.
- En muchos motores es necesaria una modificación de la frecuencia de la corriente alterna durante la marcha.

A los efectos de poder cumplir con estas diferentes tareas y exigencias, se necesitan algunos equipos eléctricos:

- ***Transformadores***

Los transformadores convierten la corriente trifásica de la acometida con una determinada tensión y frecuencia (50 Hz) en una corriente de otra tensión, pero de igual frecuencia. Conectando una fase contra neutro se puede obtener la tensión usual de 220 V. Por medio de transformaciones ulteriores se puede obtener cualquier tensión menor.

- ***Rectificadores e inversores***

La conversión de corriente alterna en corriente continua, o viceversa, se realiza a través de dispositivos llamados

- rectificadores si convierten la corriente alterna en corriente continua,
- inversores si convierten la corriente continua en corriente alterna.

La rectificación a corriente continua puede ser hecha de diferentes maneras:

- a través de un motogenerador; es un motor

de corriente alterna que impulsa un generador de corriente continua, al que está acoplado, y genera de este modo corriente continua. El rendimiento de tales motogeneradores es, sin embargo, muy bajo (75 a 80%).

- En el caso de convertidores rotativos, el motor y el generador están unificados en un equipo. El arrollamiento del inducido es al mismo tiempo arrollamiento de motor y de generador. Por ello, el rendimiento de estos rectificadores es también mayor (hasta 95%).

10

Ambos rectificadores carecen de importancia en la actualidad.

- Los rectificadores semiconductores (rectificadores secos) han pasado hoy en día a ocupar cada vez más el lugar de los rectificadores rotativos y convierten la corriente silenciosamente y casi sin pérdidas.

- *Convertidores de frecuencia*

Para una serie de tareas, la velocidad de los motores debe ser modificada para adecuarse a los requerimientos. Para mantener aun así toda la potencia del motor se usan convertidores estáticos de frecuencia, con los cuales la frecuencia de red de 50 Hz y la tensión son convertidas en frecuencia y tensión variables. De este modo, la velocidad de los motores de corriente trifásica puede ser ajustada de forma continua.

Con esto se tiene una buena posibilidad para la utilización económica de los motores para propósitos tales como mantener caudales y presiones constantes, pares constantes y potencia constante.

10.4.4 Medidas de protección

Los equipos y los medios de producción eléctricos deben ser instalados, modificados o mantenidos por un electricista calificado. Las ordenanzas que rigen para ello están establecidas en

- la Ordenanza para Prevención de Accidentes 4. Equipos y Medios de Producción Eléctricos (VBG 4), así como en el
- Anexo a las Instrucciones de Ejecución de la Ordenanza para Prevención de Accidentes VBG 4 (Edición de abril 1992).

Las personas que no son electricistas calificados –se incluyen aquí los cerveceros y los malteros– no deben realizar ningún tipo de trabajo o modificaciones en equipos eléctricos.

Para aun así, para poder trabajar como es debido con los equipos accionados eléctricamente, se debe tomar medidas de protección en los equipos eléctricos de más de 50 V, las que garanticen

- protección para la prevención de accidentes y
- protección contra sobretensiones,
- la aislación eléctrica apropiada del equipo y
- y la puesta a tierra del mismo.

Para evitar accidentes, los equipos eléctricos deben tener:

- protección contra contacto directo y
- protección contra contacto indirecto.

Esta exigencia se cumple por medio de las siguientes medidas de protección:

- aislamiento de protección,
- tensión baja de protección (menor que 42 V),
- protección por puesta a tierra,
- puesta a masa,
- sistema de conductos de protección,
- interruptor de tensión de defecto,
- interruptor de corriente de defecto y
- seccionador de fusible (galvánico).

Las partes bajo tensión en máquinas y equipos eléctricos no deben ser tocadas debido al riesgo de accidentes. Además, debe cuidarse de que no ingresen cuerpos extraños o agua. Según la ubicación y la aplicación, es necesaria una protección contra contactos casuales, agua o cuerpos extraños.

A los efectos de evitar un calentamiento no permitido de los conductores eléctricos y una sobrecarga de los medios de producción conectados, cada sección de conductor tiene

asignada una determinada carga continua máxima permitida, la cual no debe ser excedida, en interés de la seguridad operacional. El control de los conductores se realiza por medio de fusibles y disyuntores. Estos dispositivos de protección tienen la tarea de desconectar de forma segura en el caso de que sea excedido un determinado valor permitido de corriente. La desconexión de un fusible es la prueba irrefutable de una sobrecarga del conductor.

Es tarea de todo cervecero prestar atención meticulosa a las instrucciones dadas para la operación de los equipos eléctricos y ayudar así a que las personas y los equipos no sean puestos en peligro.

10.4.5 Informaciones referentes al consumo económico de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica es hoy en día de 10 a 12 kWh/hl de cerveza. Esta energía eléctrica debe ser comprada. Las empresas proveedoras de energía venden esta energía eléctrica, pero están muy interesadas en que esta energía sea tomada lo más uniformemente posible y se eviten picos de corriente. Esto no es importante en las noches cálidas de verano. Pero en invierno, cuando comienza la mañana del lunes con mucho frío, el requerimiento de corriente es muy elevado.

A fin de evitar tales picos, las condiciones de suministro de las empresas proveedoras de energía prevén para la energía eléctrica un precio de utilización y un precio de suministro.

El precio de utilización se rige según los kWh consumidos y se mide constantemente, tal como sucede en los suministros domésticos. El precio del kWh es variable y se encuentra entre aproximadamente 0,08 y 0,10 EUR/kWh.

El precio de suministro se rige según la máxima potencia tomada en kW (más preciso: kVA) como pico de 15 min. Aquí se registra el pico de potencia con un aparato trazador de máximos y luego se establece el precio de suministro. El precio de suministro es en Alemania 50 a 180 EUR/kW. Este precio base, que se establece por un año, frecuentemente está escalonado. Puede suceder entonces que al final se deba pagar 125 EUR por 1 kWh que haya sido consumido de más en el pico de corriente.

Con esto, el precio de suministro se convierte en un criterio financiero que obliga a la fábrica de cerveza a evitar picos de corriente porque, si no, los costos de energía eléctrica crecerían rápidamente de forma desmesurada. Es por ello que en la fábrica de cerveza rigen las siguientes reglas básicas, entre otras:

- Por ser los mayores consumidores de energía eléctrica, los compresores frigoríficos deben funcionar sobre todo de noche a plena carga y formar reservas de frío.
- Los contenedores grandes de salmuera y de agua helada forman reservas de frío y deben ser cargados totalmente de noche.
- Dado que el pico de potencia es dividido por el factor de potencia cosφ, es importante lograr un cosφ elevado en los motores eléctricos por medio de la instalación de condensadores.
- El factor de potencia de toda la planta debe ser compensado por medio de un equipo de condensadores para obtener un cosφ elevado.
- El ahorro de energía eléctrica es una tarea general que concierne a todos los empleados. Para la iluminación deben usarse más lámparas de bajo consumo; a igual luminosidad, las lámparas fluorescentes consumen menos energía eléctrica que las lámparas incandescentes.

La corriente máxima es registrada generalmente cada 15 min. Pero, para evitar fallas, a pesar de todos los esfuerzos, se instalan frecuentemente controladores de potencia, los

cuales desconectan los aparatos y motores en una secuencia predeterminada al alcanzarse una determinada intensidad de corriente a los efectos de evitar que se exceda el pico de potencia ("descarga automática"). Otra posibilidad de ahorro puede ser lograda a través del uso de corriente eléctrica nocturna, que es más barata.

10.5 Bombas, ventiladores y compresores

En muchos lugares de la fábrica de cerveza y de la maltería deben moverse líquidos, materiales pastosos o gases. Dependiendo del tipo y la magnitud del movimiento de estos medios, se emplean para ello bombas, compresores o ventiladores.

10.5.1 Bombas

Las bombas son máquinas de tipo dinámico para el bombeo de líquidos desde un nivel energético bajo a un nivel más elevado. En esto

- se vence una diferencia de alturas o
- se incrementa la presión en el sistema, o
- se dosifica el líquido.

En la fábrica de cerveza se utilizan bombas preferentemente para el transporte o la dosificación de líquidos o materiales altamente viscosos:

- líquidos fríos, como cerveza o agua,
- líquidos calientes, como mosto o agua caliente,
- líquidos viscosos, como levadura o preparado de kieselgur y
- los productos en estado paleable, como las heces, también pueden ser bombeados.

Hay muchos tipos diferentes de bombas. En la fábrica de cerveza se emplean en primer lugar

- bombas centrífugas; aparte de éstas, también
- bombas volumétricas y, en menor cantidad,
- bombas a chorro.

	Bombas centrífugas	Bombas volumétricas rotatorias	Bombas volumétricas oscilantes	Bombas inyectoras
modo de operación	dinámico	estático	estático	dinámico
transporte	continuo	casi continuo	pulsante	continuo
principio	circulación	desplazamiento	desplazamiento	chorro
tipo de bomba	bomba centrífuga radial bomba de canal lateral bomba de canal bomba de rodete semiaxial	bomba helicoidal excéntrica bomba de émbolo rotativo bomba de lóbulos bomba de engranajes bomba volumétrica de engranajes internos bomba peristáltica	bomba de émbolo bomba de diafragma bomba de émbolo y diafragma	bomba a chorro de líquido

10.5.1.1 Bombas centrífugas

Las bombas utilizadas con más frecuencia en la fábrica de cerveza son centrifugas. Se las usa en los más variados tamaños y aplicaciones.

El principio de bombeo de las bombas centrífugas se basa en que el líquido que fluye axialmente hacia el rodete es arrastrado por este último y lanzado radialmente hacia afuera, y allí es descargado. El incremento de presión se produce por la aceleración del líquido en el rodete.

Las bombas centrífugas tienen una serie de ventajas que las convierten en imprescindibles para su uso en la fábrica de cerveza:

- bombean uniformemente,
- son robustas y de construcción sencilla, y no poseen válvulas de ningún tipo,
- el caudal es fácil de regular y
- tienen una alta flexibilidad debido a la posibilidad de uso de rodetes de diferentes diseños.

En cuanto a los tipos constructivos, se clasifican en:

- bombas centrífugas radiales,
- bombas de canal lateral/bombas de rodete en estrella,
- bombas de canal y
- bombas de rodete semiaxial.

10.5.1.1.1 Bombas centrífugas radiales (Figura 10.29):

Las bombas centrífugas radiales trabajan en la forma descripta más arriba. Son de aspiración normal; es decir, que el aire en la tubería de aspiración no puede ser purgado por la bomba misma (no es autocebante). Esto significa que la capacidad de aspiración de la bomba recién está dada cuando la tubería de aspiración y la bomba se encuentran llenas de líquido. Es por ello que generalmente se las ubica por debajo de los medios a ser transportados. Se distinguen diferentes rodetes, según la forma y la construcción (Figura 10.30):

- el rodete cerrado (a) para líquidos limpios,
- el rodete abierto (b) para el transporte cuidadoso de líquidos que contienen sólidos,
- el rodete abierto retraído (c) para líquidos que contienen gases y
- el rodete de canal (d) para propósitos especiales.

Las bombas centrífugas radiales se encuentran instaladas sobre todo en tuberías de mosto y de cerveza. Para grandes alturas de bombeo o una presión más alta, estas bombas se construyen también como bombas multietapas (Figura 10.31).

La bomba está acoplada al motor de accionamiento (Figura 10.32)

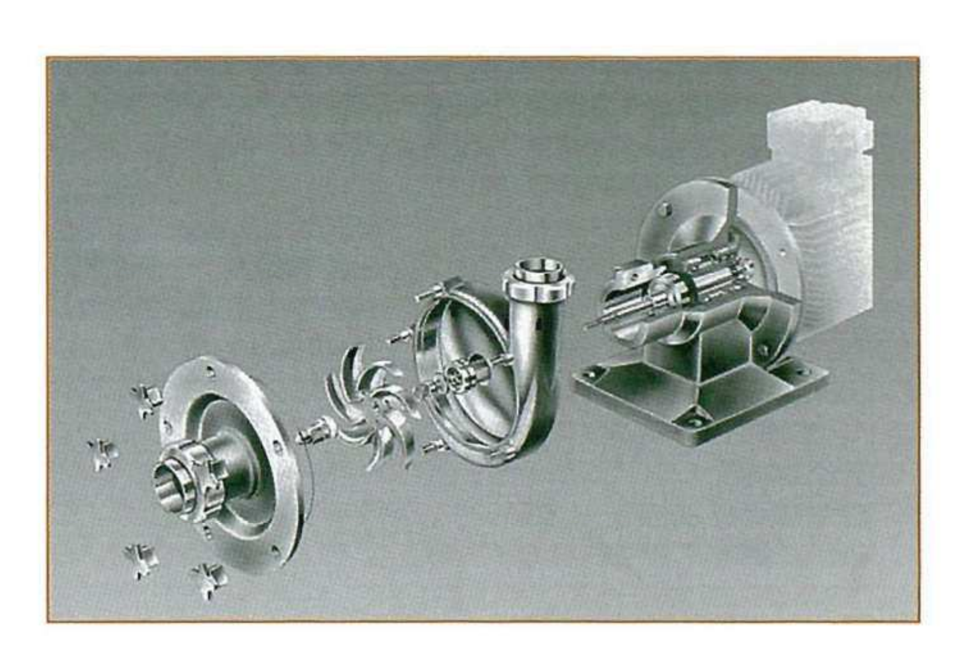


Figura 10.29
Bomba centrífuga radial (vista en explosión)

- mediante eje insertado (acoplamiento fijo) (a) o
- estando ambos incorporados dentro de una carcasa (conformación como bloque) (árbol de motor = árbol de bomba) (b), o
- a través de un cojinete (c) (extremos de árbol conectados mediante acoplamiento flexible).

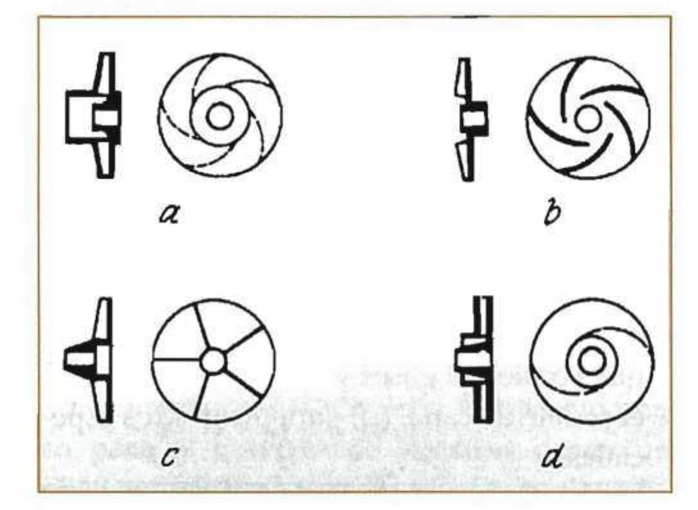


Figura 10.30
Rodetes en bombas centrífugas radiales
(a) rodete cerrado, (b) rodete abierto, (c) rodete retraído, (d) rodete de canal

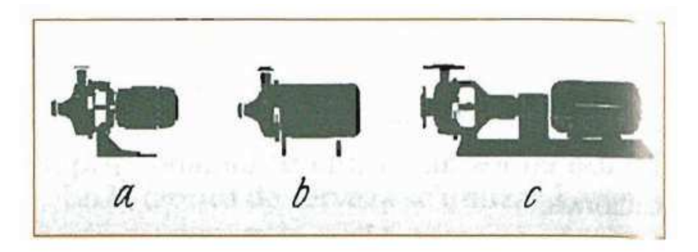


Figura 10.32
Acoplamiento bomba/motor de accionamiento
(a) eje insertado, (b) conformación como bloque, (c) acoplamiento a través de cojinete

10

10.5.1.1.2 Bombas de canal lateral/ Bombas de rodete estrella

Las bombas de canal lateral se diferencian exteriormente sólo poco de las bombas centrífugas radiales. Sin embargo, inician la aspiración sin ayuda, por lo cual se las llama también bombas centrífugas autocebantes.

Las tubuladuras de aspiración y de presión deben estar orientadas hacia arriba, de manera que la bomba siempre quede llena de líquido al detenerse.

El principio de bombeo (Figura 10.33) consiste en que un rodete estrella (1) se mueve con poco juego lateral en la carcasa, en la cual se halla la abertura de aspiración (2). Del otro lado se encuentran el canal lateral, que se ahueca y se aplana nuevamente (3), así como

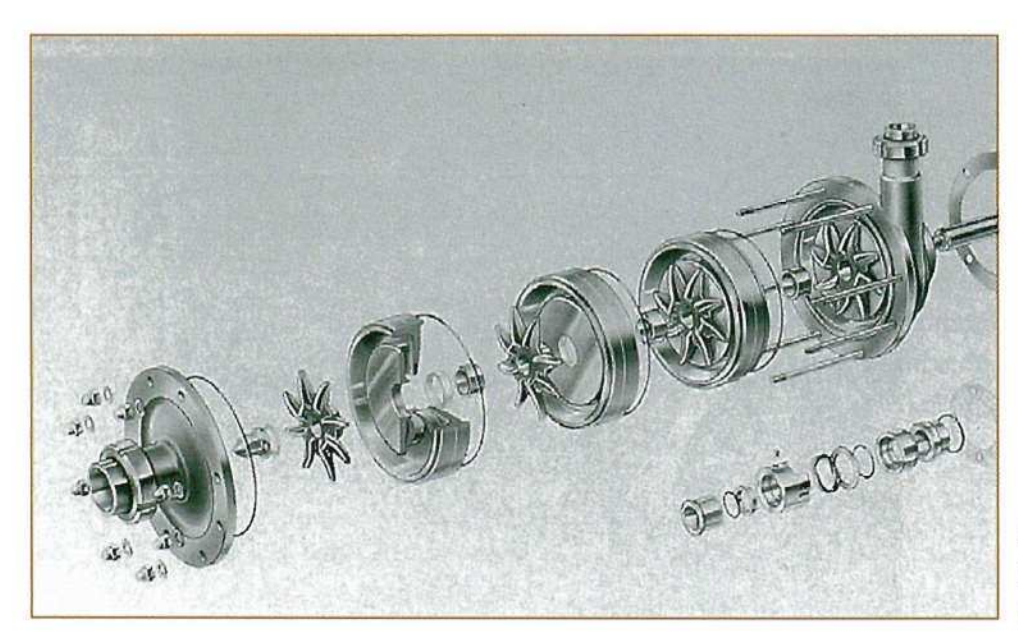


Figura 10.31
Bomba centrífuga multietapa (vista en explosión)

la abertura de presión. Al poner en funcionamiento la bomba, el rodete estrella arrastra el líquido que llena la bomba y lo lanza al canal lateral. La presión en la bomba se genera predominantemente por intercambio de impulsos, donde el líquido en el rodete que gira rápidamente transmite repetidamente energía a las porciones de líquido que circulan a menor velocidad en el canal lateral (Figura 10.34). Tales bombas se utilizan para succionar levadura y fondos de tanque, para la toma de muestras o como bombas de retorno de líquido de limpieza.

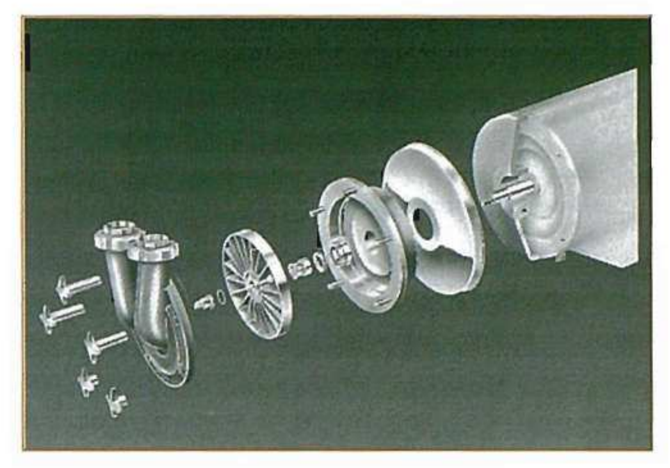


Figura 10.34: Bomba de canal lateral/Bomba de rodete estrella (vista en explosión)

10

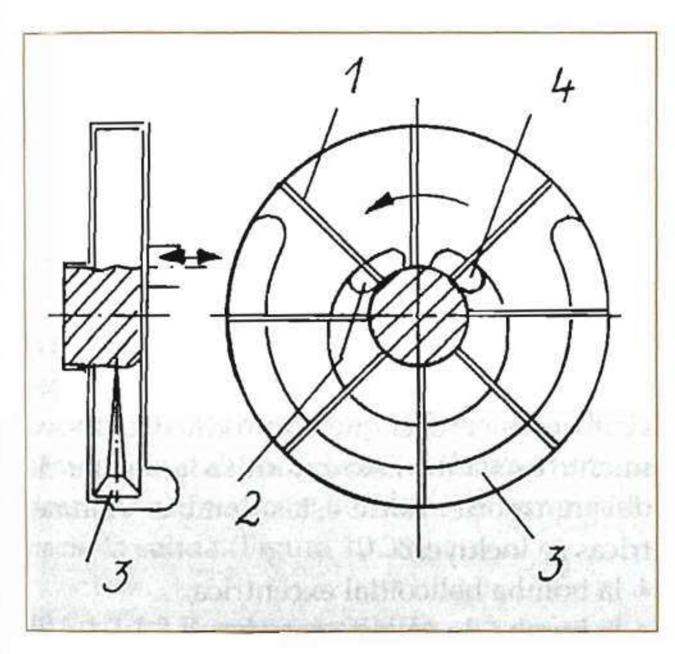


Figura 10.33
Bomba de canal lateral (principio de operación)
(1) rodete estrella, (2) tubuladura de aspiración, (3) canal lateral, (4) tubuladura de presión

10.5.1.1.3 Bombas de canal

El principio de bombeo de las bombas de canal es similar al de las bombas centrífugas radiales. Se las emplea preferentemente para el transporte de materia consistente (templa) y para el transporte de productos remojados junto con la última agua de remojo en instalaciones neumáticas.

10.5.1.1.4 Bombas de rodete semiaxial

Las bombas de rodete semiaxial se utilizan preferentemente en configuración multietapa como bombas para pozos profundos, dado que se caracterizan por su reducido diámetro de rodete. Debido a ello se las puede instalar en los pozos angostos.

10.5.1.1.5 Bombas de rodete centrífugo helicoidal

Las bombas de rodete centrífugo helicoidal (Figura 10.34a) consisten en un rodete centrífugo helicoidal de forma especial (1), que combina las propiedades de una bomba centrífuga con las ventajas de una bomba volumétrica. En el cono de aspiración (5), el producto suministrado, proveniente de la entrada (2), es sometido a una rotación progresiva en la parte de rodete helicoidal (7). En esto, los sólidos que son más pesados que el agua son llevados al centro del líquido circundante.

En la subsiguiente parte de rodete centrífugo (8), la corriente de líquido es transportada radialmente hacia afuera y descargada por la salida (3).

Dado que las partículas no están sometidas a un cambio abrupto de dirección, el bombeo se desarrolla en forma cuidadosa y sólo aparecen fuerzas pequeñas de cizallado.

Como ventajas substanciales de la bomba

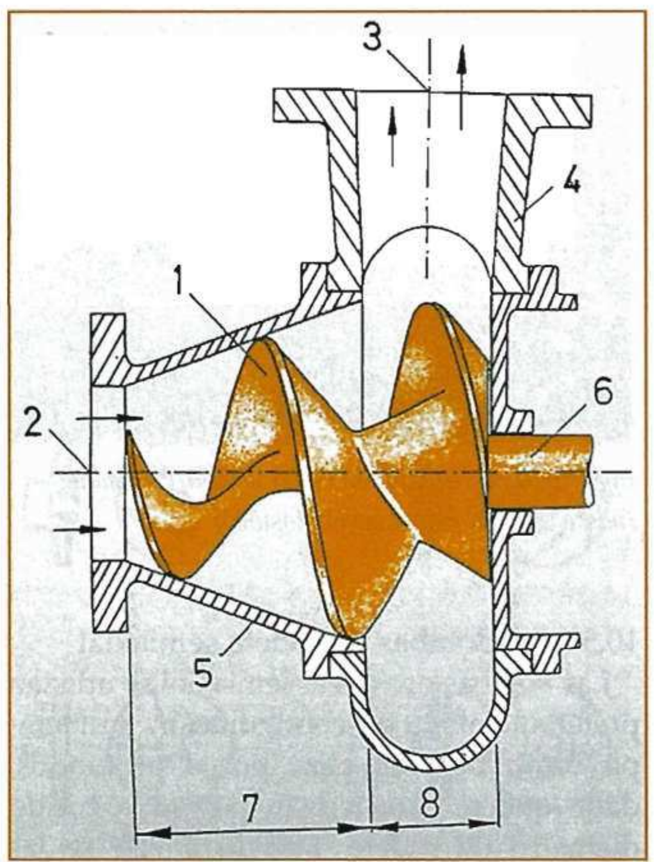


Figura 10.34a
Bomba de rodete centrífugo helicoidal
(1) rodete centrífugo helicoidal, (2) entrada, (3) salida, (4) carcasa en espiral, (5) cono de aspiración, (6) árbol de bomba, (7) parte de rodete helicoidal, (8) parte de rodete centrífugo

de rodete centrífugo helicoidal, se mencionan las siguientes:

- trabajan libres de taponamiento y transportan también materiales altamente viscosos (hasta más de 4000 mPa · s),
- el bombeo es muy cuidadoso,
- tienen un alto rendimiento (mayor que 80%),
- tiene un consumo uniforme de potencia,
- sus valores NPSH son bajos (ver Sección 10.5.1.3) y debido a ello el riesgo de cavitación es reducido.

Las bombas de rodete centrífugo helicoidal son cada vez más utilizadas en la fábrica de cerveza como bomba de recirculación de templa y de mosto, y para el transporte de mosto, en especial debido a su transporte cuidadoso. Por motivos de higiene alimentaria, el empleo de esta bomba tiene lugar únicamente en el área caliente, es decir, hasta el bombeo de mosto.

10.5.1.2 Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas mueven el líquido, por medio de desplazamiento del mismo, desde el espacio de aspiración al espacio de presión. Debido al desplazamiento, el líquido es tratado cuidadosamente. En esto se distingue entre:

- bombas rotatorias volumétricas, que trabajan continuadamente y sin válvulas, y
- bombas pulsantes volumétricas, las cuales son oscilantes y poseen para ello válvulas para el cierre y la apertura de la cámara de trabajo.

10.5.1.2.1 Bombas volumétricas con transporte continuo

Las bombas volumétricas con transporte continuo poseen un accionamiento que rota uniformemente, el que no produce un movimiento oscilante. Esto garantiza la constancia del transporte. Entre estas bombas volumétricas se incluyen:

- la bomba helicoidal excéntrica,
- la bomba de émbolo rotativo,
- la bomba de lóbulos,
- la bomba de engranajes,
- la bomba volumétrica de engranajes internos y
- la bomba peristáltica.

10.5.1.2.1.1 Bombas helicoidales excéntricas

La bomba helicoidal excéntrica (Figura 10.35) consiste en un estator exterior de material elástico y un árbol (rotor), ubicado internamente, de acero inoxidable. Debido a su forma se la denomina también "bomba de rotor helicoidal" o, en referencia al inventor Moineau, también se la denomina a veces "bomba Mohno" (empresa Netzsch).

El líquido es impulsado hacia adelante debido al movimiento rotativo del rotor (de un paso) y la formación de espacio longitudinal (Figura 10.36) en el estator (de dos pasos). Con esta bomba se puede bombear casi todo, incluyendo productos pastosos.

El estator es una pieza de desgaste y es relativamente caro; la bomba no es apta para operación en seco. Es apropiada para alimentos debido a su posibilidad de ser limpiada.

En la fábrica de alimentos, tales bombas de rotor helicoidal se usan para el transporte de heces y de la templa, o de la levadura de fondos de tanque.

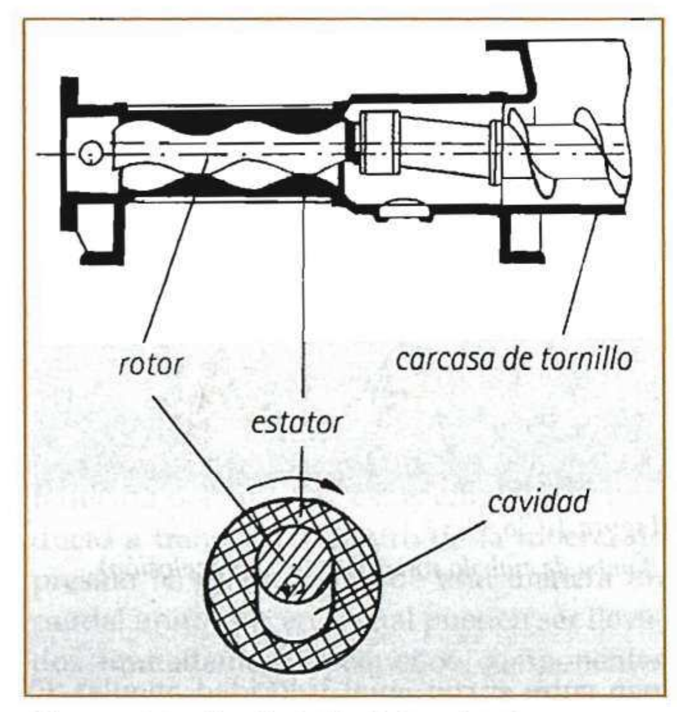


Figura 10.35: Bomba helicoidal excéntrica con tornillo de alimentación

10.5.1.2.1.2 Bombas de émbolo rotativo

La bomba de émbolo rotativo (Figura 10.37) posee dos émbolos rotativos, que son accionados sincrónicamente por medio de engranajes y con igual velocidad angular. El medio a bombear ingresa en la cámara de trabajo vacía, la cual se agranda durante la rotación, y es arrastrado por el émbolo en el sentido de rotación del mismo. Como consecuencia de la reducción del tamaño de la cámara de trabajo delante de la abertura de presión, el medio a bombear es empujado hacia la salida (Figura 10.38).

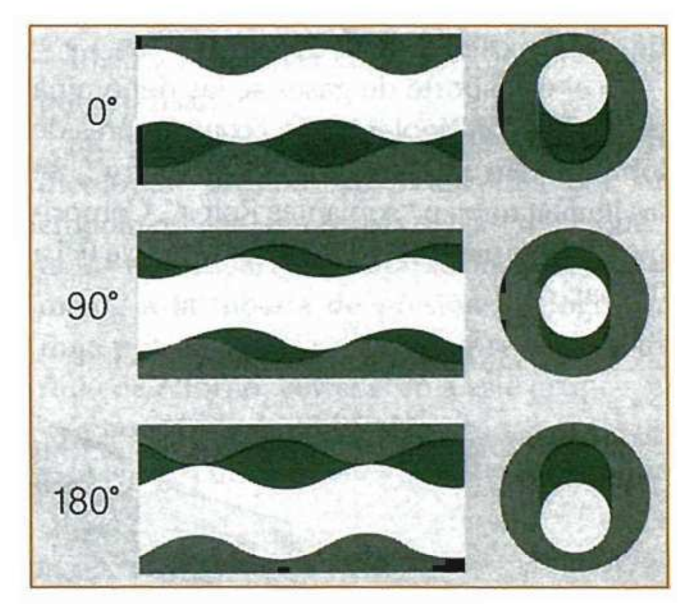


Figura 10.36
Movimiento del rotor en el estator

10.5.1.2.1.3 Bombas de lóbulos

Las bombas de lóbulos (Figura 10.39) operan de forma similar a las bombas de émbolo rotativo. El producto es transportado en la rotación por cada uno de los dos émbolos lobulares de tres lóbulos cada uno, que engra-

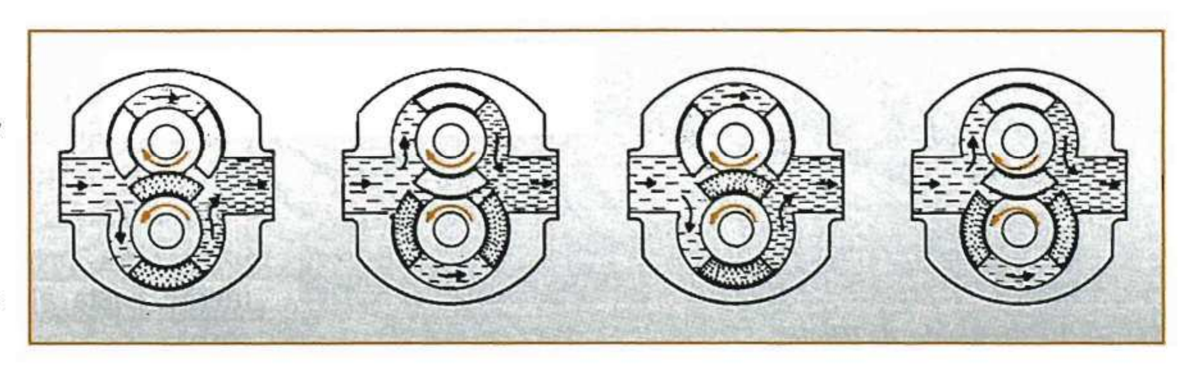


Figura 10.37
Bomba de émbolo rotativo (principio de operación)

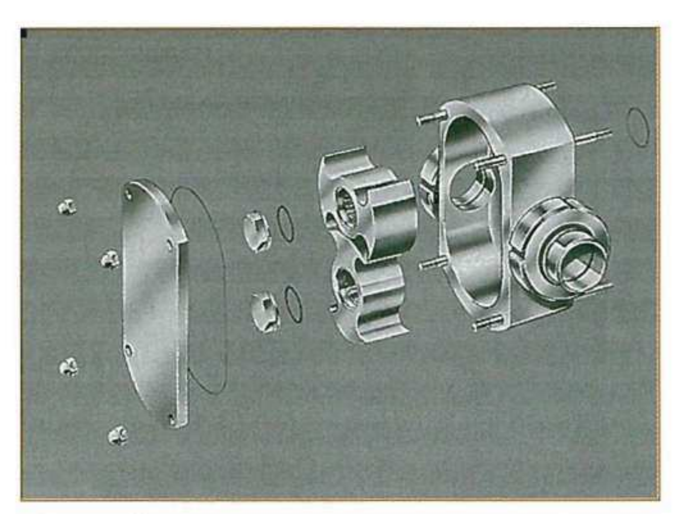


Figura 10.38
Bomba de émbolo rotativo (vista en explosión)



nan entre sí con igual velocidad angular. El bombeo es muy cuidadoso y, como en el caso de las bombas de émbolo rotativo, se pueden transportar productos pastosos y productos de alta viscosidad de forma cuidadosa.

En el transporte de gases se las denomina generalmente "soplantes" o "compresores de lóbulos". En referencia a su "inventor", se las llama también "soplantes Rotos". Comprimen hasta una diferencia de presión de 0,5 a 0,6 bar.

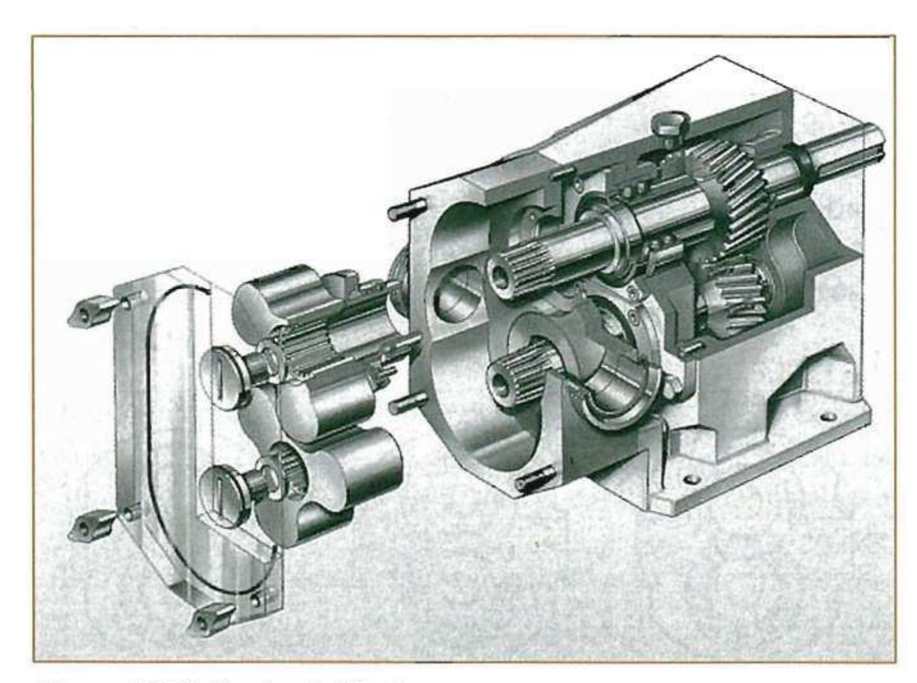


Figura 10.39: Bomba de lóbulos

Se las utiliza en diferentes formas constructivas

- en instalaciones neumáticas de aire comprimido y de vacío (ver Sección 2.1.3.2) o
- para la compresión de vahos en la sala de cocción (ver Sección 3.4.2.6.2).

10.5.1.2.1.4 Bombas de engranajes

Las bombas de émbolo rotativo y las bombas de lóbulos son de principio similar. Así, hay bombas de lóbulos con dos, tres o cuatro lóbulos. En el caso de tener muchos lóbulos, estas bombas se llaman "bombas de engranajes".

Las bombas de engranajes son usadas –como las bombas de émbolo rotativo y las bombas de lóbulos– tanto para el transporte de productos viscosos como para el transporte de levadura.

En motores y máquinas se las utiliza como bombas de lubricación.

10.5.1.2.1.5 Bombas volumétricas de engranajes internos

En el caso de las bombas volumétricas de engranajes internos (Figura 10.40), el rotor con engranaje interno (1) arrastra en la rotación al piñón (2). El vástago del piñón está ubicado excéntricamente.

Tan pronto como el rotor gira, los dientes del rotor y del piñón se separan y forman un espacio en (3) y el caudal suministrado puede ingresar entre los dientes. En el espacio (4), el medio a bombear es forzado hacia afuera por los dientes del piñón y sale de la bomba a través de la tubuladura de presión. Estas bombas se utilizan para productos levemente hasta altamente viscosos.

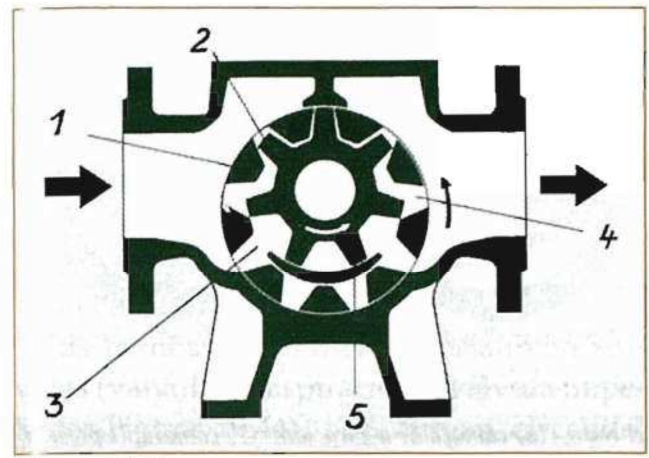


Figura 10.40
Bomba volumétrica de engranajes internos
(1) rotor con dientes interiores, (2) piñón con dientes exteriores, (3) apertura del espacio de dientes, (4) cierre del espacio de dientes, (5) cierre

10.5.1.2.1.6 Bombas peristálticas

La pieza principal de una bomba peristáltica (Figura 10.41) es una manguera elástica (1). La manguera es apretada contra la pared cilíndrica de la carcasa por medio de varios rodillos prensadores (2). De este modo empuja el producto a transportar hacia adelante, en tanto que, debido a la formación de una presión negativa detrás del rodillo prensador, se succiona más producto (Figura 10.42).

10.5.1.2.1.7 Bombas de rodete flexible

Una bomba de rodete flexible (Figura 10.43) consiste en un cilindro de acero inoxidable o de resina epoxi con una parte de su sección interior que está reducida debido a un mayor espesor de pared (1). En este cilindro rota un rodete flexible y elástico (2) de neopreno.

Tan pronto como los labios flexibles del rodete cambian de la posición doblada a la posición extendida se forma una presión negativa en el lado de aspiración (3). Debido a esto se aspira líquido y se lo continúa moviendo (b). Tan pronto como los labios del rodete flexible llegan la parte de sección reducida del cilindro, éstos empujan el producto a transportar dentro de la tubería de presión (c; 4). Se forma de esta manera un caudal uniforme, en el cual pueden ser llevados limitadamente pequeños componentes sólidos.

El sentido de suministro puede ser cambiado invirtiendo el sentido de rotación.

10.5.1.2.2 Bombas volumétricas con transporte pulsante

En estas bombas, la aspiración y el incremento de presión son realizados por un émbolo oscilante. A través de válvulas conectadas a la tubería de aspiración, respectivamente a la tubería de presión, se logra un flujo pulsante hacia adelante y se impide un flujo de retorno. Pertenecen a este grupo

- la bomba de émbolo y
- la bomba de (émbolo y) diafragma.

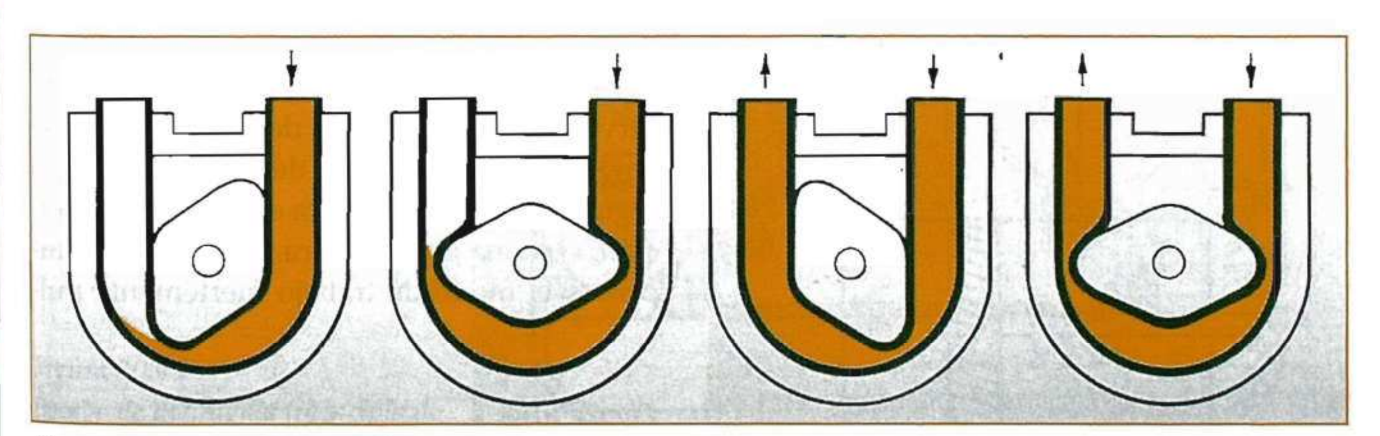


Figura 10.41: Bomba peristáltica
(1) manguera elástica, (2) rodillo prensador

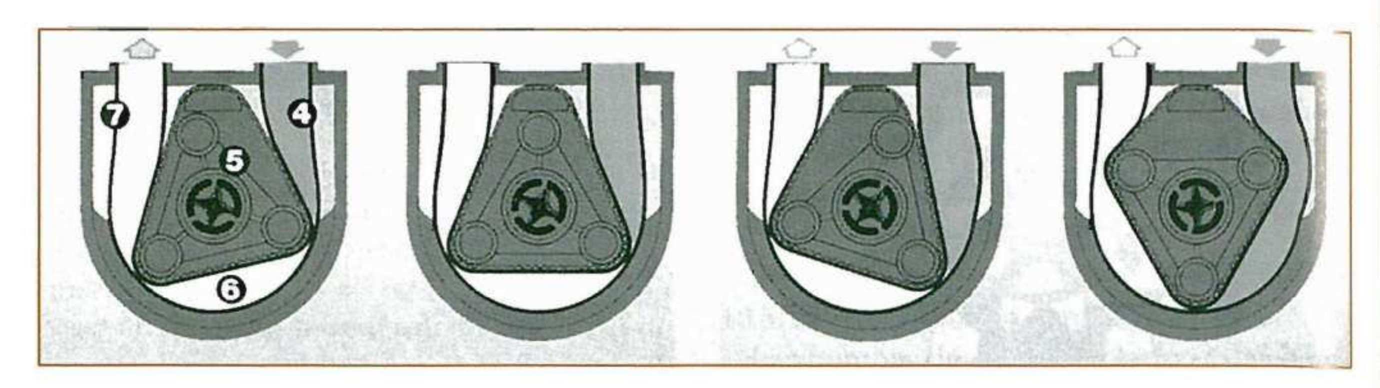


Figura 10.42: Bomba peristáltica

(4) cámara de aspiración, (5) cámara interior de la bomba con el rotor, (6) cámara de aspiración, (7) cámara de presión

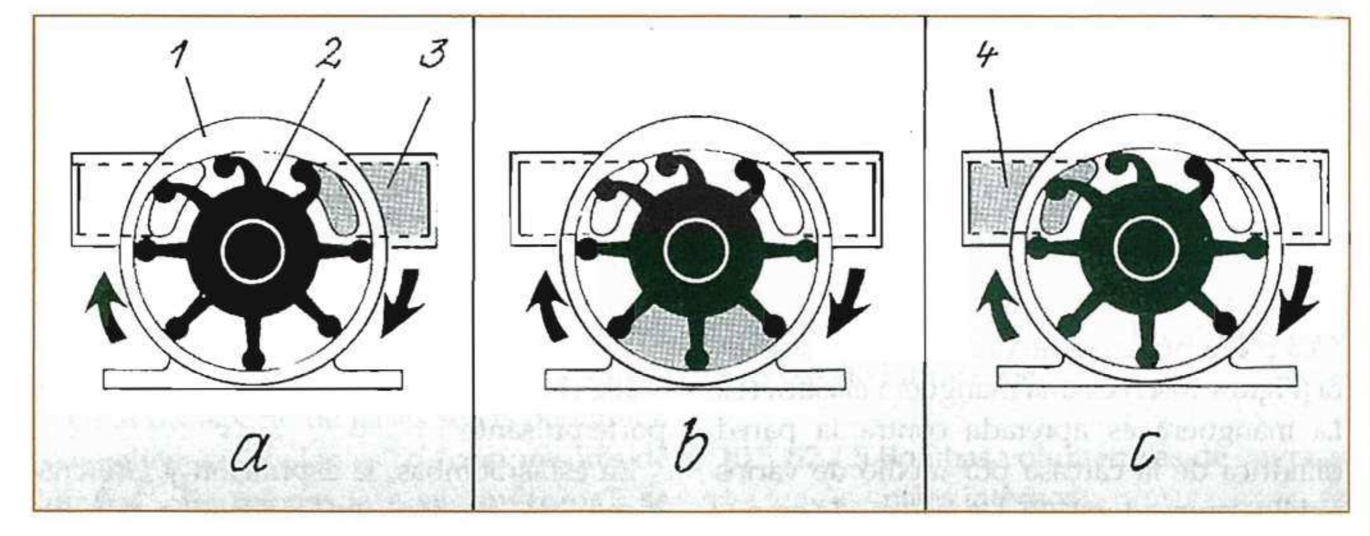


Figura 10.43: Bomba de rodete flexible

(1) carcasa de rotor con parte de sección reducida, (2) rodete flexible, (3) lado de aspiración, (4) lado de impulsión

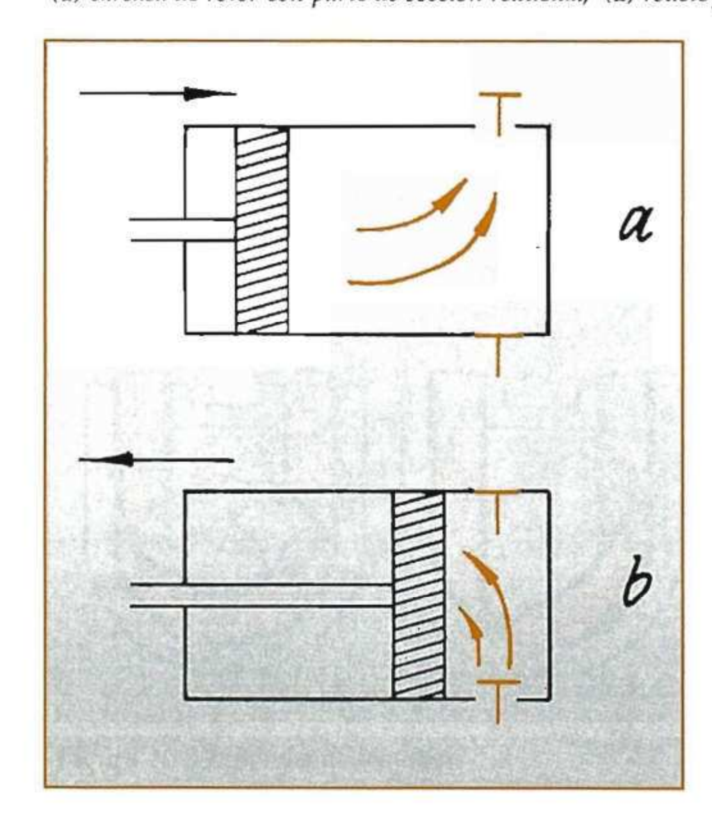


Figura 10.44

Bomba de émbolo (principio de operación)

(a) expulsión, (b) aspiración

10.5.1.2.2.1 Bombas de émbolo

Las bombas de émbolo son las más antiguas que se utilizan en la fábrica de cerveza. Durante mucho tiempo, las bombas de émbolo manuales eran la única posibilidad para transportar productos líquidos dentro de la fábrica de cerveza. Aún a principios de los años 50 se encontraba en las fábricas de cerveza alguna bomba de émbolo que se empleaba como bomba de trasiego y como regulador de presión para el equipo de filtración, con una gran cámara de aire para compensar el modo de trabajo fuertemente pul-

s nte de la bomba. En la "cámara de aire" parcialmente llena, el aire es comprimido levemente con cada carrera de émbolo y de este modo se amortigua levemente la pulsación. En algunos jardines y plantas agropecuarias se utiliza aún hoy en día la bomba de émbolo buzo operada manualmente para el bombeo de agua de pozo.

Las bombas de émbolo trabajan con válvulas (válvula de aspiración y válvula impelente; Figura 10.44), que dirigen el caudal siempre en un sentido. Se las utiliza a veces en la fábrica de cerveza como bombas dosificadoras para agentes de limpieza y de desinfección.

10.5.1.2.2.2 Bombas de diafragma

Las bombas de diafragma trabajan de forma similar a las de émbolo (por ello se las llama también "bombas de émbolo y diafragma"), pero aquí el émbolo está separado del líquido por medio de un diafragma (Figura 10.45). Estas bombas de diafragma se usan sobre todo en aquellos lugares en los que se deben cumplir elevadas exigencias higiénicas. Ya se ha mencionado una bomba de émbolo y diafragma al tratar el aparato dosificador de kieselgur.

El diafragma también puede estar

- unido al accionamiento en arrastre de forma o
- ser accionado en arrastre de fuerza por medio de un fluido intermedio.

Se las emplea para la dosificación de productos químicos, así como para el transporte de levadura o de lodo de kieselgur.

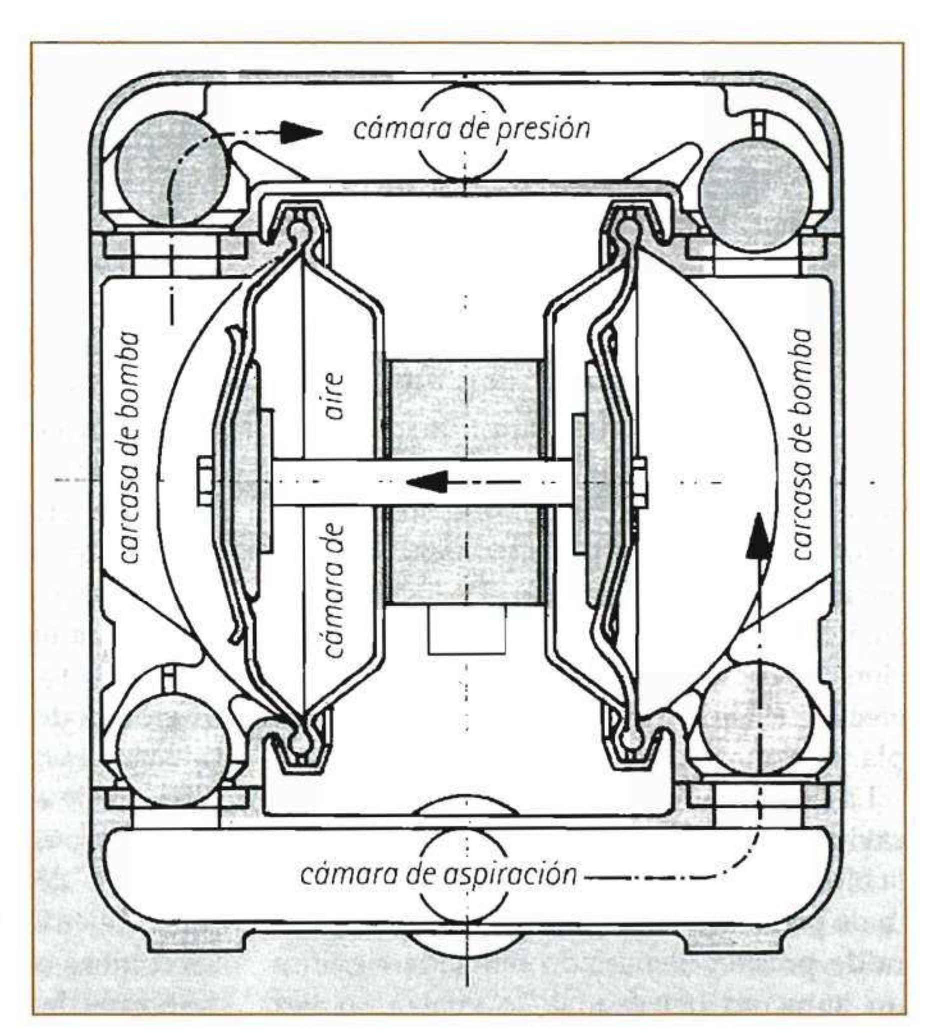


Figura 10.45
Bomba de diafragma (principio de operación)
accionada por aire comprimido

10.5.1.3 Dimensionamiento de bombas

La oferta de bombas es muy variada y para cada aplicación es necesario utilizar la bomba correcta. Los criterios principales para la utilización de una bomba son:

- el caudal deseado,
- la altura de presión,
- el requerimiento de potencia,
- el rendimiento y
- la velocidad de rotación.

Debe tenerse en cuenta que las bombas volumétricas bombean a caudal constante independientemente de la presión de bombeo, en tanto que el caudal en las bombas centrífugas es muy dependiente de la altura de presión.

10

Cavitación

En la operación de bombas centrífugas puede suceder que se produzcan ruidos dentro de la bomba, los cuales primeramente suenan como golpes de aguja y finalmente se hacen notar como si se estuviera transportando canto rodado; a esto se suman fuertes vibraciones. Este efecto se denomina "cavitación".

La causa de la cavitación consiste en que se ha alcanzado o excedido la temperatura de ebullición debido a una pérdida de presión en la zona de aspiración de la bomba. Por este motivo se forman burbujas de vapor que, durante el pasaje a la parte de presión en la carcasa de la bomba, implotan abruptamente al aumentar la presión (aumento de la temperatura de ebullición). En esta implosión causan estos ruidos. Debido a la cavitación se producen fuerzas de cizallado, cuyos efectos negativos sobre la calidad de la templa y del mosto son conocidos.

La causa de la pérdida de presión en la cavitación es siempre debida a un exceso en la altura permitida de aspiración o una altura de presión demasiado reducida. Una altura de presión demasiado reducida significa un aumento del caudal, lo cual a su vez implica una altura de aspiración no permitida.

En relación estrecha con la cavitación se encuentra la altura de alimentación (altura de aspiración) de la bomba centrífuga, que está caracterizada por el valor NPSH (net positive suction head) o presión neta de aspiración positiva. Es por ello que el valor NPSH cumple un papel decisivo en la selección de la bomba.

El valor NPSH de la instalación debe ser mayor que el valor NPSH de la bomba.

La cavitación implica una fuerte pérdida de capacidad y puede llevar finalmente a una ruptura del flujo de suministro. Una cavitación continuada causa daños materiales muy graves en la bomba y puede tener una influencia negativa sobre la calidad de la cerveza.

10.5.1.4 Regulación de la velocidad de bombas

Una bomba sólo trabaja óptimamente si la capacidad de la bomba se corresponde con el requerimiento. Si se estrangulan las válvulas de la bomba, su capacidad disminuye y el rendimiento empeora notablemente.

Para adaptarse a condiciones operativas constantemente variables. se utilizan hoy en día bombas reguladas por frecuencia. Por medio del ajuste continuo de la velocidad, se puede ajustar también todos los demás parámetros operativos en estas bombas reguladas por frecuencia. Por medio de convertidores estáticos de frecuencia, la frecuencia de 50 Hz y la tensión de red pueden ser transformadas en frecuencia y tensión variables; de este modo se puede ajustar de forma continua la velocidad de los motores trifásicos.

Se puede así integrar la bomba como elemento de regulación ideal en el circuito de control, y de este modo ya no es necesario sobredimensionar la bomba. Las ventajas de las bombas controladas por frecuencia son:

- ahorros de energía eléctrica de 40 a 50%,

tratamiento cuidadoso del producto transportado,
- no hay golpes de ariete en el arranque (es posible el arranque suave por medio de software apropiado),
- menos golpes de corriente en la red,
- no hay válvulas de ajuste.

Las bombas reguladas por frecuencia se utilizan sobre todo allí donde es muy importante mantener presiones o temperaturas exactas, bajo condiciones cambiantes; por ejemplo:

- mantener constante el caudal durante la alimentación del filtro,
- mantener constante la presión en el pasteurizador flash,
- mantener constantes las presiones en filtros y máquinas llenadoras de botellas y barriles,
- mantener constantes los niveles de llenado de tanques amortiguadores,
- regulación de presión en bombas de limpieza,
- mantener constantes las diferencias de presión y de temperatura en el suministro de agua, etc.

10.5.1.5 Sello mecánico

Una particularidad de las bombas es que el árbol que está rotando velozmente debe ser sellado contra la carcasa fija de la bomba. Esto es necesario, por un lado, para prevenir un escape de líquido y, por el otro, para evitar el ingreso de lubricantes.

Este sello se efectuaba antaño por medio de prensaestopas, en los cuales se apretaban anillos de cuerda de empaque trenzada, hecha de fibras textiles. Esta empaquetadura para prensaestopas no debe ser apretada demasiado porque en ese caso no es lubricada y se quema debido al rozamiento.

Actualmente se utilizan sellos mecánicos para el sellado (Figura 10.45a). Para el funcionamiento del sello mecánico es importante que el anillo deslizante (5) sea desplazable fácilmente sobre el árbol de bomba (1) y que pueda ser apretado contra el contraanillo (6) por medio del muelle (2). El anillo deslizante es sellado contra el árbol de bomba por el anillo obturador (4). Este anillo obturador debe ser fácilmente desplazable sin dejar de ser estanco. Este deslizamiento es facilitado por el uso de grasa de silicona. Especialmente en el caso de las bombas de mosto se debe limpiar regularmente la superficie de deslizamiento. La limpieza CIP frecuentemente no alcanza, dado que estos puntos son de difícil acceso. El contraanillo es sellado contra la carcasa de bomba por el anillo de sello (7).

El sello mecánico nunca debe operar en seco y debe estar siempre lleno con líquido para asegurar la lubricación en el espacio anillo deslizante/contraanillo.

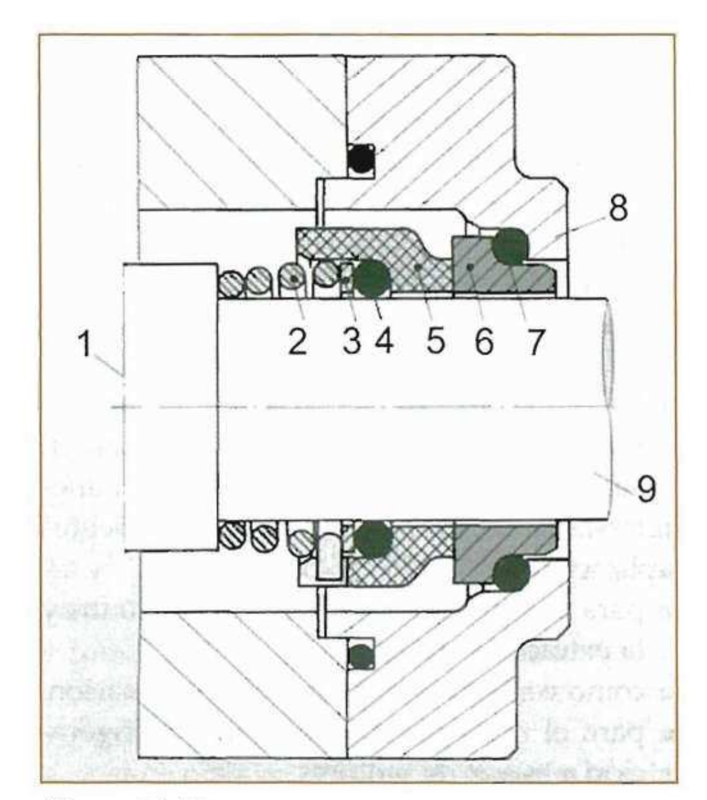


Figura 10.45a
Sello mecánico (esquemático)
(1) árbol de bomba, lado del rodete, (2) muelle, (3) arandela, (4) anillo de sello (anillo redondo), (5) anillo deslizante, (6) contraanillo, (7) anillo de sello en la carcasa de bomba, (8) carcasa de bomba, (9) árbol de bomba, lado del accionamiento

Como materiales para el anillo deslizante y el contraanillo se emplean:

- carburo de tungsteno, carburo de silicio, óxido de aluminio, metal duro, aceros CrNiMo,
- grafito ligado en o impregnado con resina sintética ("carbono sintético").

Existen diferentes formas constructivas de sellos mecánicos, como

- el sello mecánico simple,
- el sello mecánico con quench,
- el sello mecánico doble en diseño back to back o
- el sello mecánico doble construido en tándem.

En el marco de estas descripciones debe prescindirse de mayores detalles acerca de estos sellos, que constituyen medidas adicionales de seguridad.

10.5.2 Ventiladores

Los ventiladores sirven para el abastecimiento de aire y para la ventilación de espacios cerrados. Según su diseño se los diferencia entre:

- ventiladores axiales y
- ventiladores radiales.

10.5.2.1 Ventiladores axiales

Los ventiladores axiales se encuentran en la fábrica de cerveza y en la maltería en diferentes tamaños, y se utilizan para diferentes aplicaciones, por ejemplo:

- para la ventilación de espacios cerrados y la extracción del CO_2,
- como ventiladores de cajas de germinación,
- para el movimiento del aire de refrigeración a través de motores,
- para el movimiento del aire mediante condensadores evaporativos, etc., así como también
- como ventiladores de techo o de mesa para refrigeración.

Los ventiladores poseen 4 a 6 palas similares a palas de hélice, que rotan sobre un eje hasta a 1400 rpm y causan así un movimiento de aire. En los antiguos tostaderos se aspiraba el aire con ayuda de enormes ventiladores axiales.

Los ventiladores axiales no deben ser operados contra flaps cerrados, dado que, de lo contrario comienzan a bombear y rápidamente causan daños en los cojinetes.

10.5.2.2 Ventiladores radiales

Los ventiladores radiales consisten en una rueda con paletas que se mueve a gran velocidad y que empuja hacia afuera y en forma radial el aire aspirado axialmente. Por medio de una carcasa, la corriente de aire es dirigida al lugar deseado. Los ventiladores radiales se construyen hoy en día para grandes capacidades y pueden mover volúmenes de aire que están muy por encima de 100. 000 m^3 /h.

El lugar de aplicación principal de los ventiladores radiales es la maltería: ventiladores de alta potencia empujan las cantidades de aire necesarias a través de las capas espesas de malta verde y malta tostada. Los ventiladores radiales también son operados sin carcasa. Se los utiliza también para la aireación de salas de embotellamiento.

10.5.3 Plantas de aire comprimido

En varios lugares de la fábrica de cerveza se requiere aire comprimido, que debe cumplir exigencias muy diferentes. Así se necesitan en algunos lugares presiones y caudales especialmente elevados, en tanto que en otro lugar se requiere aire comprimido que esté libre de aceite y contaminaciones.

Se necesita aire comprimido

- como gas de contrapresión para el transporte o desplazamiento de líquidos,
- como aire estéril para la aireación de la levadura,
- como portador de energía en el transporte neumático de heces, malta, etc.,
- como gas de barrido libre de aceite y gérmenes, para la extracción de CO_2 antes de

la limpieza alcalina,
- como aire de control para el accionamiento de válvulas y
- como aire de trabajo para equipos neumáticos.

Para el abastecimiento de estos puntos de consumo se necesita una planta de aire comprimido en la fábrica de cerveza. Pero, puesto que el aire comprimido debe realizar diferentes tareas, se divide usualmente el suministro de aire comprimido según las áreas de aplicación mencionadas.

El aire de proceso estéril y libre de aceite tiene las más altas exigencias con respecto a la planta. Ya una traza de aceite que llega a la cerveza destroza la espuma. Una única contaminación puede hacer, a través de propagación, que la calidad de la cerveza sea cuestionable. El aire de proceso sólo debe entrar en contacto con la cerveza en dos lugares:

- para la aireación intensiva del mosto durante el inicio de fermentación y
- para la aireación de la levadura luego de la cosecha,
- para el vaciado de tanques (bajo determinadas condiciones).

Sabemos que no debe haber otro contacto del aire con la cerveza debido al posible deterioro de la estabilidad de sabor.

La utilización del aire de trabajo y del aire de control (aire de instrumentos) cubre una serie de tareas:

- Aire de trabajo para el transporte neumático. El trabajo con aire comprimido para la extracción de heces y para el transporte de malta está muy difundido a pesar del gasto relativamente alto de energía. No hay exigencias especiales con respecto a la calidad de este aire comprimido.
- Aire de trabajo para accionamientos neumáticos (aire de operación), por ejemplo para el accionamiento neumático de los elementos elevadores en los equipos llenadores de botellas o de kegs, así como de las válvulas.

En los siguientes lugares de la fábrica de cerveza se necesitan aire comprimido o CO_2 bajo presión:

Lugar de aplicación	Aire comprimido bar (m)	CO_2 bar (m)
control en general	2 a 4	
regulación neumática	6 a 8	
aire de transporte para malta	< 1	
limpieza neum. filtro de polvo	2 a 4	
transporte de heces	2 a 3	
aireación del mosto	4 a 6	-
cava de fermentación (llenado y vaciado)	aprox. 2	< 2
cultivo de levadura	2 a 4	-
bodega de reposo (llenado y vaciado)	aprox. 2	< 2
filtración	4 a 6	> 6
extracción de kieselgur	4 a 6	-
depósito de tanques de presión	-	< 2
limpieza convencional	aprox. 2	-
envasado	> 6	> 4

Se necesitan –según el equipamiento– 4 a 10 m^3 de aire (aspirado)/hl de cerveza para venta; de esto

- 50 a 60% en la sala de embotellamiento,
- 5 a 10% en la planta de barriles,
- 7 a 10% para el aire de control,
- el resto para la bodega de reposo y la sala de cocción.

Una planta de aire comprimido se compone de

- un filtro de aire que separa contaminaciones del aire aspirado,
- un compresor que comprime el aire aspirado a la presión requerida,

10

- un enfriador que enfría el aire calentado por la compresión,
- un secador que seca el aire frío,
- un tanque de aire comprimido como pulmón y
- una red de tuberías ramificada.

El orden de disposición de los equipos puede variar.

En contra de consideraciones establecidas de operar un equipo individual para cada nivel de presión, estudios recientes [198] han mostrado que se puede ahorrar 22 a 23% del requerimiento de energía eléctrica si, en vez de lo anteriormente mencionado,

- se instala una planta central de compresores con un nivel de presión de 4 bar y
- se obtienen los incrementos de presión necesarios a través de pequeños compresores adicionales, dispuestos in situ.

El aire comprimido para el transporte de las heces debería ser puesto a disposición por un compresor separado, que esté dimensionado para la altura de presión necesaria. Este aire no necesita ser secado.

Es apropiado emplear soplantes de alta presión ($p < 1$ bar (m)) para el eventual soplado de limpieza de tanques cilindrocónicos y tanques de presión.

Los componentes individuales de la planta de aire comprimido deben ser explicados más detalladamente.

10.5.3.1 Compresores

En el compresor, el aire es comprimido. Al comprimir el aire, disminuye el volumen de gas, en tanto que aumenta la presión. Debido a la compresión del volumen de gas, aumenta inevitablemente la temperatura del gas comprimido de acuerdo con la fórmula

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Es en esto:

p_1 = presión antes de la compresión
p_2 = presión después de la compresión
V_1 = volumen antes de la compresión
V_2 = volumen después de la compresión
T_1 = temperatura antes de la compresión (en grados Kelvin)
T_2 = temperatura después de la compresión (en grados Kelvin)

Como la presión continúa incrementándose con el aumento progresivo de la temperatura, es necesario enfriar el aire comprimido luego de la compresión.

Al enfriarse el aire, disminuye su capacidad de absorción de humedad. Pero, si entonces se separa agua, esto puede ser problemático. Es por ello que se debe forzar subsecuentemente al aire a separar, por medio de enfriamiento ulterior, el agua contenida y extraer ésta en un secador.

El compresor de aire es el componente más importante de la planta.

A los efectos de evitar que durante la compresión ingrese aceite de la lubricación del compresor al aire comprimido, se trabaja hoy en día preferentemente con compresores de aire que operan libres de aceite, los cuales se construyen como

- compresores alternativos,
- compresores de pistón rotativo,
- compresores Scroll,
- compresores de uña rotativa,
- compresores de tornillo o
- turbocompresores.

10.5.3.1.1 Compresores alternativos

Los compresores alternativos que se construyen en la actualidad son generalmente de tipo vertical y de pistón seco

- como compresores de una etapa hasta $p = 7$ bar (m) y
- como compresores de dos etapas hasta $p = 10$ a 12 bar (m).

Para las necesidades de la fábrica de cerveza se consideran únicamente los compresores de una etapa.

Un compresor de pistón seco (Figura 10.46) está compuesto por un órgano de

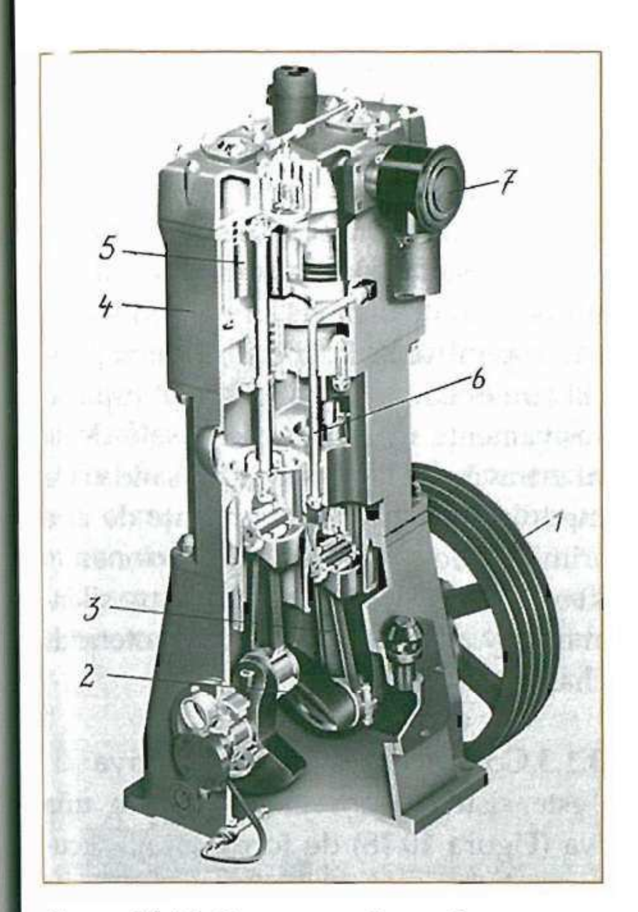


Figura 10.46: Compresor alternativo
(1) polea acanalada, (2) cigüeñal , (3) biela, (4) bloque de cilindros, (5) pistón con anillos de teflón, (6) tubería de agua de refrigeración, (7) filtro de aspiración con silenciador

accionamiento (1), que es impulsado por un motor eléctrico de alta potencia. A través de un cigüeñal balanceado, biela y cruceta, se convierte el movimiento rotatorio del cigüeñal en un movimiento lineal hacia arriba y hacia abajo. El mecanismo completo de biela y cigüeñal es lubricado por medio de un circuito de lubricación. Un prensaestopas de gas sella el vástago de pistón. La pieza más importante es naturalmente el pistón, que es conducido hacia arriba y hacia abajo en el cilindro y que comprime así el gas. Dado que durante la compresión se produce calor, éste tiene que ser evacuado. Esto se realiza por medio de una refrigeración por agua o por aire.

La entrada de aire y la descarga de aire comprimido ocurren a través de válvulas de aspiración y de presión autoaccionadas. La operación es muy ruidosa y se trata de disminuir el ruido intercalando un silenciador de aspiración.

Los compresores alternativos continúan siendo hoy en día la variante más económica para la generación de aire comprimido.

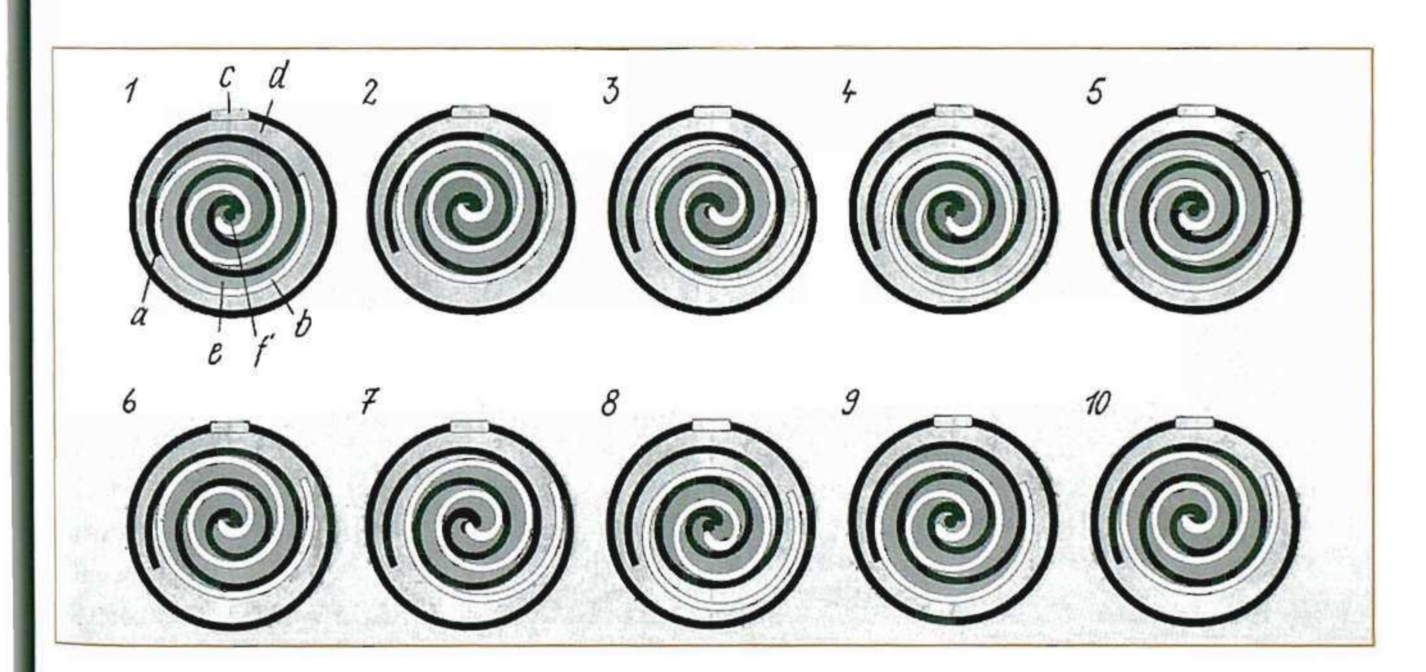


Figura 10.47: Principio Scroll
(a) espiral fija, (b) espiral en rotación, (c) abertura de entrada, (d) cámara de aspiración, (e) cámara de compresión, (f) abertura de salida, (1-10) fases de compresión



Figura 10.48
Elementos de uña rotativa

10.5.3.1.2 Compresores Scroll

El principio Scroll (Figura 10.47) consiste en que el aire se comprime por medio de una espiral fija y una espiral que rota excéntricamente. El aire de aspiración llega en la cámara de compresión a la parte externa de la espiral. Tan pronto como el aire ha sido aspirado, la espiral sella la abertura de aspiración. El aire es empujado ahora a un espacio progresivamente más pequeño y sale de la espiral a través de la abertura de salida. De este modo se produce una corriente de aire comprimido que está libre de pulsaciones.

Los compresores Scroll trabajan muy silenciosamente y se construyen para potencias bajas hasta 3,7 kW.

10.5.3.1.3 Compresores de uña rotativa

En este sistema, dos elementos de uña rotativa (Figura 10.48) de forma muy peculiar, pero balanceados dinámicamente, se mueven en sentidos opuestos entre sí. Las uñas rotativas no se tocan entre sí ni entran en contacto con la pared de la carcasa.

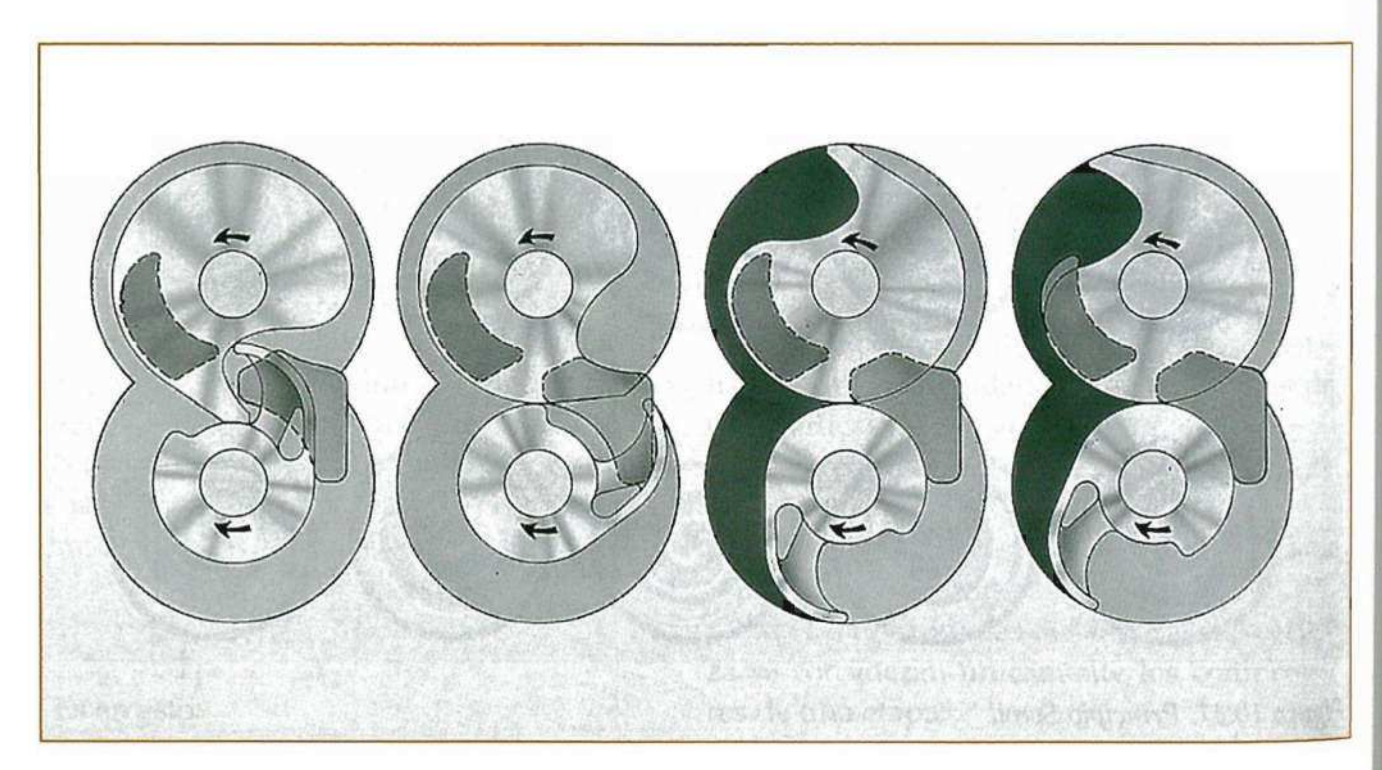


Figura 10.49: Principio de operación de la uña rotativa

El principio de operación de la uña rotativa (Figura 10.49):

Aspiración: el aire llega a la cámara de compresión; el rotor secundario cierra la entrada.

Inicio de la compresión: la entrada y la salida están cerradas; el aire que se encuentra entre ambos rotores es comprimido debido al decrecimiento del espacio. Con ello aumenta la presión.

Fin de la compresión: el aire encerrado está comprimido; la entrada se abre para el nuevo ciclo.

Descarga: se libera la abertura de salida y el aire comprimido puede fluir hacia afuera.

Los compresores de uña rotativa se construyen a veces de una etapa, pero por lo general son de dos etapas con refrigeración por aire o por agua, y con potencias hasta 55 kW. En cada compresión, el aire se calienta hasta más de 100°C y debe ser refrigerado luego de cada etapa de compresión (Figura 10.50).

10.5.3.1.4 Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo son utilizados frecuentemente. Ambos elementos de tornillo, que ya conocemos de los compresores frigoríficos, engranan uno contra el otro con sus tornillos asimétricos. Operan absolutamente libres de aceite, debido al apoyo en

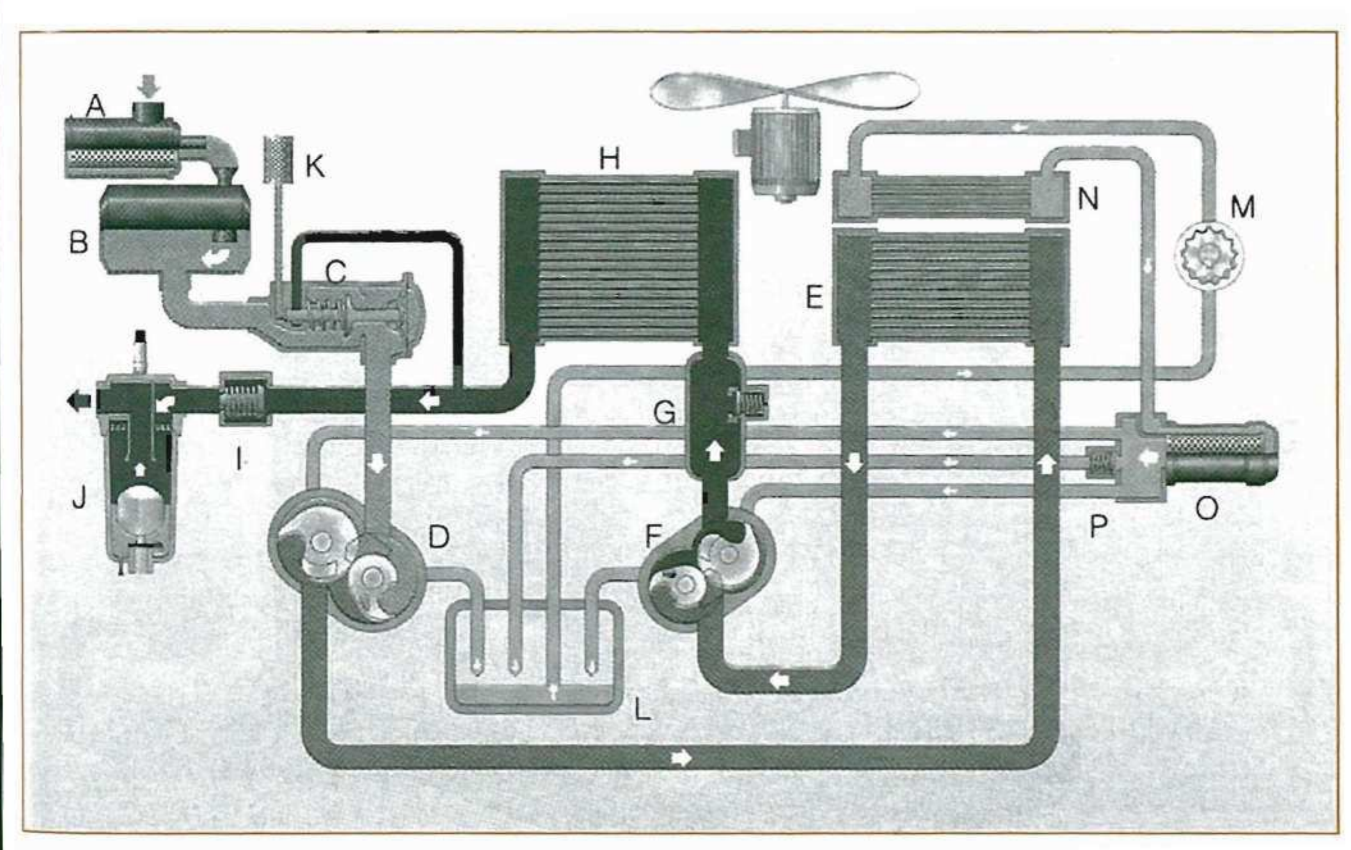


Figura 10.50

Compresor de uña rotativa de dos etapas con refrigeración por aire (Modelo ZT 18-37)

Flujo de aire:

(A) filtro de entrada de aire, (B) silenciador de aspiración, (C) válvula de entrada de aire, (D) elemento de baja presión, (E) enfriador intermedio, (F) elemento de alta presión, (G) silenciador de descarga, (H) posenfriador, (I) válvula de retención, (J) drenador de condensados, (K) silenciador

Flujo de aceite:

(L) caja de aceite, (M) bomba de aceite, (N) refrigerador de aceite, (O) filtro de aceite, (P) válvula de bypass

cojinetes de alto rendimiento y la operación sin contacto mutuo (Figura 10.51).

Tal como los compresores de uña rotativa, los compresores de tornillo trabajan generalmente en dos etapas (Figura 10.52) y refrigerados por aire o por agua. Se los construye para potencias nominales de motor hasta 700 kW. Pero, para la producción de aire comprimido en las fábricas de cerveza sólo se usan potencias considerablemente menores.

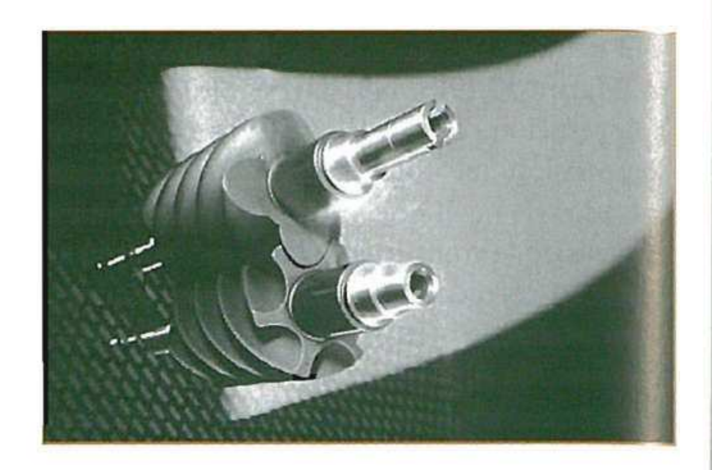


Figura 10.51
Elementos de tornillo

10.5.3.1.5 Turbocompresores

Por turbocompresores se entienden compresores con las más altas capacidades, los cuales, con 500 a 2700 kW de potencia de acoplamiento, suministran caudales hasta 30.000 m^3/h. Es por ello que los turbocompresores no se utilizan en las fábricas de cerveza.

10.5.3.2 Secadores de aire

El aire aspirado contiene vapor de agua. El contenido de vapor de agua del aire depende de la temperatura y disminuye cada vez más

Figura 10.52: Compresor de tornillo

(1) tablero de instrumentos, (2) silenciador de compresión, (3) enfriador intermedio, (4) motor eléctrico, (5) etapa de alta presión, (6) separador de condensados, (7) posenfriador con drenador de condensados, (8) refrigerador de aceite, (9) bomba de aceite, (10) purga de aire, (11) etapa de baja presión, (12) válvula de retención, (13) enfriador de descarga, (14) válvula de estrangulación de entrada, (15) filtro de entrada de aire con silenciador

con temperatura decreciente (Figura 10.54, a). La temperatura a la cual se alcanza la presión de saturación en la mezcla vapor de agua/aire se llama "punto de rocío". Si se está por debajo del punto de rocío, se separa agua en forma de condensado.

Si el aire comprimido se expande, el punto de rocío decrece proporcionalmente al cambio de volumen. Esta temperatura dependiente de la presión se denomina "punto de rocío bajo presión".

El agua separada como condensado

- entorpece el proceso, que normalmente sería sin problemas,
- causa formación de herrumbre y corrosión, y
- forma un terreno fértil para nidos de contaminación.

Es por ello que se trata de extraer el agua contenida en el aire. Para esto se utilizan secadores de aire.

Hay dos posibilidades de secar aire:

- enfriamiento del aire por debajo del punto de rocío bajo presión y
- empleo de secadores por adsorción.

Por el contrario, la posibilidad de utilización de secadores por absorción ya no se aprovecha.

Para la regeneración de secadores por adsorción existen las siguientes posibilidades:

- por aire caliente generado de forma separada,
- por aire comprimido y sin enfriar, y
- por aire comprimido seco, que se usa luego de ser despresurizado (proceso heatless).

Los secadores de aire trabajan frecuentemente como secadores por adsorción (Figura 10.53). El aire comprimido en dos etapas de compresión (3+6) es enfriado (4+9) y en ese estado frío y saturado de humedad llega a un tanque. Allí debe atravesar un tambor que

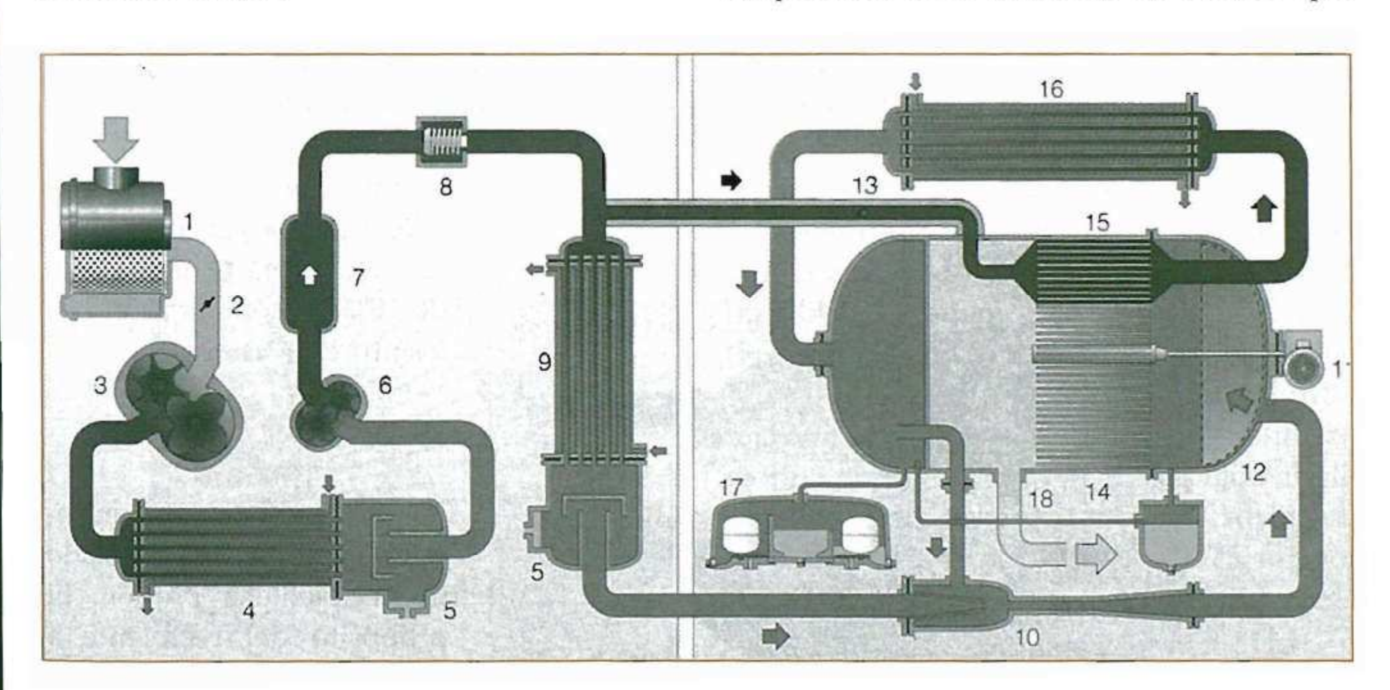


Figura 10.53: Secador por adsorción (forma de operación)

Compresor: (1) filtro de aspiración de aire, (2) válvula de entrada, (3) compresor de baja presión, (4) enfriador intermedio, (5) descarga de condensados, (6) compresor de alta presión, (7) silenciador de descarga, (8) válvula de retención, (9) posenfriador

Secador: (10) eyector, (11) motor de accionamiento, (12) drenador de condensados, (13) válvula de estrangulación, (14) sector de secado, (15) sector de regeneración, (16) enfriador de regeneración, (17) drenador de condensados con válvula de seguridad, (18) salida de aire seco

rota lentamente, el cual está subdividido en numerosos pequeños sectores que están impregnados con un agente desecante. En este pasaje, el aire cede la humedad, se seca y es descargado. Los pequeños sectores han absorbido ahora la humedad y deben ser secados.

Para ello se toma aire comprimido aún no enfriado de un punto ubicado antes del posenfriador (9). Dado que está caliente, puede absorber humedad. Esto ocurre al pasar este aire en sentido opuesto a través de la parte superior del tambor. De este modo, esta última es secada (Figura 10.54). Dado que el tambor rota lentamente, el aire es secado permanentemente.

En muchos secadores, el aire comprimido es conducido a lo largo de superficies enfriadas de intercambio de calor (tubos aletados) y es enfriado de este modo. A aproximadamente 0°C, el agua es separada (evitándose el congelamiento) y con ello se seca el aire.

Luego, el aire frío y seco es utilizado en un intercambiador de calor para el preenfriamiento del aire comprimido caliente y sin secar.

Con el secado por ciclo frigorífico sólo se puede alcanzar puntos de rocío bajo presión de 1 a 2°C (con secadores por adsorción -25 a -40°C).

Un método sencillo y muy efectivo de secado de aire comprimido consiste en pasar el aire a través de agua que se mantiene a 0°C por medio de tubos de refrigeración (evaporación directa o indirecta). El aire se enfría a 0°C; al mismo tiempo disminuye la temperatura de punto de rocío, y el agua sobrante se separa (en el agua): el aire saliente está helado y seco.

En la mayoría de las plantas, el secador de aire está conectado detrás del compresor. Sin embargo, actualmente también se lo conecta en algunos casos individuales en el lado de aspiración. Un ejemplo de esto es el secador Gossler, en el cual el aire de aspiración es enfriado a -25°C [198]. De este modo se obtiene también un menor volumen de aspiración para el compresor. Sin embargo, es necesario que el equipo sea 100% hermético, ya que el aire arrastrado causa una merma en el rendimiento. El ahorro de energía en este proceso es de 5 hasta un máximo de 10% en comparación con los procesos usuales.

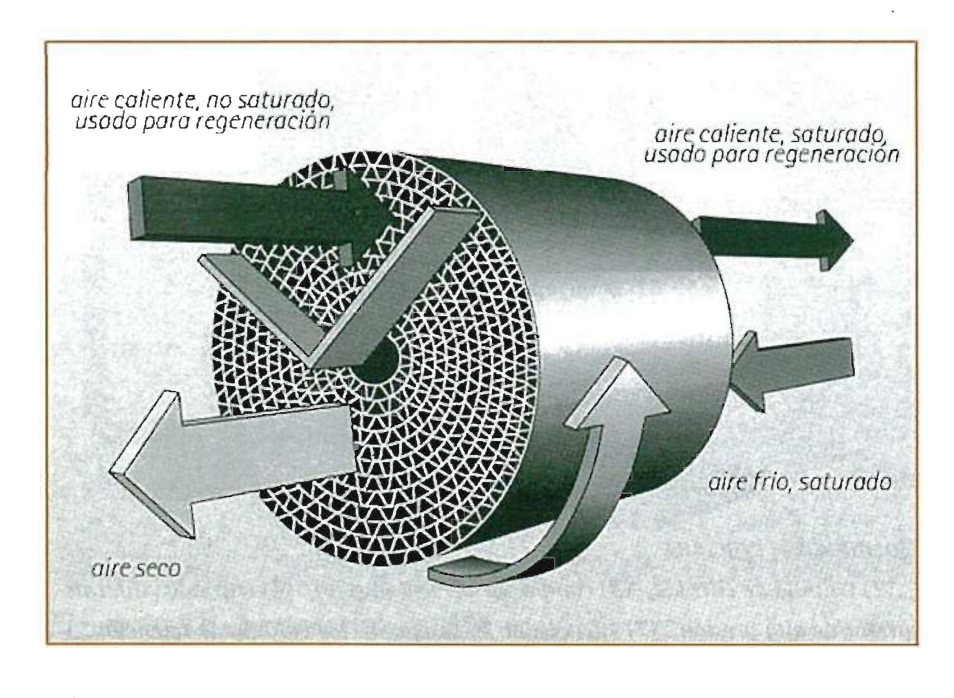


Figura 10.54
Secador por adsorción rotativo
Sector de secado y sector de regeneración

10.5.3.3 Recipientes a presión

En toda red de aire comprimido se encuentra instalado un recipiente a presión. El propósito del recipiente a presión es compensar las fluctuaciones de presión en la red por medio de un gran volumen y asegurar así una presión constante. Una válvula de sobrepresión protege al mismo tiempo la red contra presiones demasiado eleva-

das (sólo es necesario en el caso de un compresor que suministre aire a una presión mayor que la que está permitida para la instalación).

10.5.3.4 Red de aire comprimido

La red de tuberías es el punto débil de la planta de aire comprimido. La red está compuesta por un sistema más o menos ramificado de tuberías, que están conectadas por medio de bridas, manguitos y acoplamientos. Las conexiones envejecen, se aflojan y dejan de ser herméticas. Se puede asumir que estas pérdidas por fugas son [198]:

- 5% en el caso de sistemas de tuberías pequeños y nuevos,
- 10% en sistemas de tuberías muy ramificados y
- 30-35% en sistemas de tuberías viejos.

Con el aumento progresivo de los puntos y aberturas de fugas, los costos de energía crecen inevitablemente de forma abrupta. Frecuentemente se escucha el silbido del aire en los puntos de fuga en la fábrica de cerveza. La cantidad total de fugas se puede medir exactamente llenando el depósito de aire y midiendo la caída de presión.

Es por ello que las redes modernas son soldadas (material: acero inoxidable), las ramificaciones son instaladas sin puntos muertos y en todos los puntos bajos se encuentran colocados dispositivos de drenaje.

¡La red moderna de aire comprimido debe ser apta para CIP!

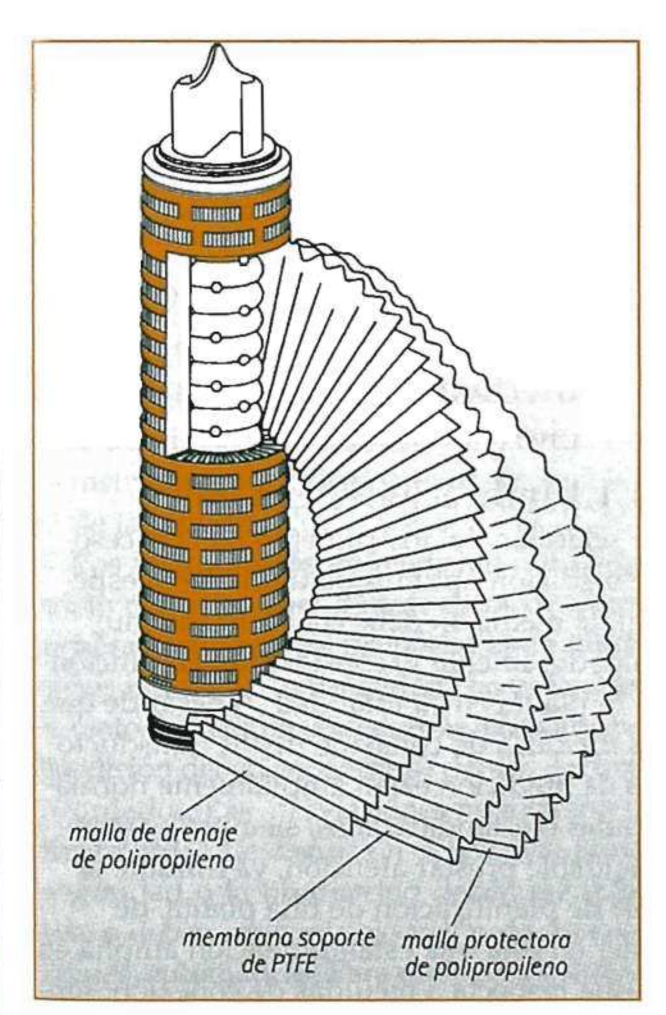


Figura 10.55: Cartucho filtrante estándar para la filtración esterilizante de aire

10.5.3.5 Filtros de aire

Para una serie de aplicaciones, el aire comprimido debe estar libre de todos los contaminantes posibles, en especial, debe estar libre de cualquier tipo de microorganismos. Es decir, debe ser estéril. Esto se refiere sobre todo al aire comprimido

- para la aireación del mosto o
- para el transporte de tapones corona.

El aire estéril se obtiene por filtración del aire comprimido a través de cartuchos de membrana (tamaño de poros < 0,2 µm) (Figura 10.55). El corte en la ilustración muestra la estructura interna de un cartucho filtrante estándar. Éste tiene un efecto filtrante muy grande y diferenciado, debido al plisado de las membranas con una superficie filtrante de aproximadamente 0,75 m^2 por cartucho. En la carcasa del filtro se puede colocar tantos cartuchos como se desee.

No sólo se retienen así todas las partículas mayores que el tamaño de poro de las membranas, que es del orden de 0,2 µm, sino que, debido a fuerzas electrostáticas, se retienen también microorganismos que son más pequeños que el tamaño de poro. Es por ello que se puede asumir que el aire filtrado de este modo es estéril.

11 *Automatización y planificación de planta*

(escrito en colaboración con el Dr. Hans-Jürgen Manger)

11

Toda persona tiene la necesidad de vivir más agradablemente y de trabajar de forma más sencilla. Por lo general son necesarios grandes esfuerzos para lograr este objetivo. Estos esfuerzos son el motor en el desenvolvimiento de la sociedad humana y se reflejan también en el desarrollo de toda rama industrial. Esto se puede ver muy notablemente en el desarrollo de la fabricación de cerveza en los últimos 50 a 60 años. Así, el viejo cervecero les cuenta a sus nietos asombrados cómo, hace 60 años, debía reptar todos los días en los barriles de almacenamiento para limpiarlos con fregador y cepillo, y utilizando mucha agua. Es más fácil de explicar cuán estrecho era el interior de estos barriles montados, cuyo volumen era de sólo 15 a 20 hl, que explicar la técnica para desplazar el agua residual del barril abombado y salir finalmente uno mismo del barril con la cabeza hacia delante y realizando una acción aventurada –sin caerse de cabeza–. Al final de un día de trabajo sólo se había podido limpiar con mucho esfuerzo apenas 150 a 200 hl de volumen de barril, no más. Si bien entonces los barriles estaban casi limpios, bajo ningún concepto estaban libres de contaminantes. El agua, el fregador y el cepillo eran los instrumentos de trabajo diario del cervecero, y todo esto a temperaturas alrededor de 0°C. Durante la jornada de trabajo de nueve horas en la bodega de almacenamiento, el frío se infiltraba lentamente a través de la ropa de trabajo humedecida, aun a pesar de los varios pulóveres que los hombres tenían puestos. Y había obreros que pasaban toda su vida laboral en ese ambiente semioscuro.

Una situación tal parece hoy en día casi increíble. Pero hasta no hace mucho, ésta era la norma tanto en fábricas de cerveza pequeñas como grandes. Hoy en día, ningún cervecero ingresa al tanque cilindrocónico para la limpieza. El consumo de agua es dosificado muy cuidadosamente. Un desarrollo muy intensivo en el término de unas pocas décadas ha llevado a esta automatización, la cual domina hoy en día la fabricación de cerveza como estado actual de la técnica. Esta automatización es debida al deseo de hacer la vida más fácil y agradable y para reducir los costos. Pero para automatizar es necesario cumplir con una serie de condiciones previas e instalar una tecnología importante. Este último capítulo informa al respecto.

11.1 Indicaciones respecto de la utilización de la técnica de medición, control y regulación

11.1.1 Indicaciones generales

La selección del instrumento o el proceso de medición óptimos para una tarea especial de medición debe ser realizada muy cuidadosamente y considerada en función de la planta en su totalidad. A pesar de que las medidas de conexión de los transductores de medición están ampliamente normalizadas o estandarizadas, siempre es recomendable prestar atención, ya durante la fase de planificación de una planta, de tener en ésta una estandarización amplia en lo que respecta a medidas de conexión, rangos de medición, principios de medición aplicados y fabricantes, a los efectos de sim-

plificar el mantenimiento y servicio, y reducir los costos.

En general vale para todas las mediciones técnicas: "tan preciso como sea necesario" y "tantas veces como sea necesario" para mantener el gasto total tan bajo como sea posible. En cualquier planificación debería evaluarse cuidadosamente la necesidad y la capacidad informativa de cada punto de medición. En numerosos casos sólo se necesitan resultados de medición durante la puesta en servicio de un equipo o para ajustar elementos de equipos.

11.1.2 Requerimientos en lo que respecta a la incertidumbre de medición en la técnica de medición utilizada

Las exigencias que debe cumplir la técnica de medición deben ser consideradas de forma muy diferenciada en lo que respecta a la incertidumbre de medición. Por ejemplo, es posible una clasificación en:

- instrumentos de medición industriales,
- instrumentos o dispositivos de medición que influyen directamente sobre la calidad de producto,
- instrumentos de medición relevantes para la administración industrial e
- instrumentos y dispositivos de medición de laboratorio.

Los instrumentos de medición industriales están previstos para indicar datos de proceso generales. En esto, el propósito es en muchos casos indicar la "normalidad" en el funcionamiento de máquinas o equipos. Los valores de medición deben encontrarse dentro de límites acordados. Las desviaciones no tolerables de magnitudes de medición relevantes para la seguridad o la producción deben ser indicadas o deben causar la ejecución de intervenciones automáticas. Para estos propósitos son suficientes los instrumentos de medición industriales con márgenes de error de 1 a 2%.

Siempre se mide sólo tan exacto como sea necesario, dado que existe una relación inversamente proporcional entre el margen de error de un instrumento y su precio. Además, los instrumentos de medición con márgenes mayores de error frecuentemente son más robustos y por ello menos propensos a fallar.

Pertenecen a este grupo los termómetros de máquina, manómetros, controladores de flujo, instrumentos de medición para nivel y caudal, para conductividad, etc.

Los transductores de medición son partes de dispositivos de medición y en general suministran las señales para equipos de control y de regulación. Cuanto mayores son las exigencias en lo que respecta a la precisión de los controles o reguladores, tanto mayor es el esfuerzo que se debe realizar para la determinación de valores de medición. En los transductores de medición modernos, la señal de medición es procesada generalmente de forma digital y posibles influencias indeseadas son compensadas ampliamente, de manera que la precisión de medición y la estabilidad a largo plazo de los instrumentos están adecuadamente aseguradas. Mientras que en el pasado los transductores de señales de medición eran el eslabón más débil de la cadena, en el presente lo son las unidades de ajuste.

Los instrumentos o dispositivos de medición relevantes para la calidad deben cumplir con exigencias mayores en lo que respecta a los resultados de medición y la incertidumbre de medición. Ejemplos de ello son la medición de temperatura de la templa y del agua de riego (las enzimas de malta tienen temperaturas óptimas y máximas con tolerancias muy estrechas y el traspaso de estas últimas puede causar muy rápidamente la inactivación), el mantenimiento exacto de la temperatura y el tiempo de pasteurización, la medición de la sobrepresión (de esta manera se fija el contenido de CO_2 de la cerveza en dependencia de la temperatura), la medición del contenido de

O_2 y de CO_2 de la cerveza, el análisis de la cerveza (determinación del mosto original, determinación del contenido de alcohol) o el análisis de la malta.

Las mediciones relevantes para la administración industrial deben ser realizadas con incertidumbres de medición tan reducidas como sea posible a los efectos de determinar y evaluar de forma exacta los costos operativos. Se incluyen aquí sobre todo los instrumentos o dispositivos de medición para el registro de los consumos de energía y de agua, y de los consumos de materia prima y de materiales adicionales para la producción.

11

Allí donde es posible debería emplearse el pesaje, porque en la determinación de masa sólo se tienen pequeñas incertidumbres de medición. Si se conoce la densidad, el pesaje también es muy apto para la calibración de instrumentos de medición de volumen.

Por medio de mediciones y cálculos de control se debería verificar permanentemente la capacidad de funcionamiento del dispositivo o instrumento de medición, y los valores de consumo/valores medidos, en lo que respecta a su significado (por ejemplo, por comparación entre las informaciones de remito y las cantidades realmente suministradas y los parámetros reales de calidad, o por comparación de las mediciones de cantidades individuales/cantidades parciales con la medición de cantidades totales).

Las mediciones redundantes pueden mejorar la seguridad de evaluación.

Se imponen las más altas exigencias a los instrumentos de medición/dispositivos de medición utilizados en el aseguramiento de calidad o en el laboratorio para garantizar el significado y la comparabilidad de los resultados de medición. Por ello, estos instrumentos de medición deben ser controlados, calibrados o ajustados diariamente, dado el caso, o antes de cada uso.

Es importante documentar estas actividades. El control de los dispositivos de ensayo y de medición es un elemento esencial de los sistemas de aseguramiento de calidad.

11.1.3 Requerimientos del lugar de instalación y de la limpieza/desinfección

Los requerimientos en lo que respecta a la configuración de la técnica de medición y el lugar de instalación para instrumentos o transductores de medición deben ser considerados de forma muy diferenciada en la industria de fermentación y de bebidas.

Los lugares de instalación pueden ser tuberías, contenedores y máquinas o aparatos. Las exigencias esenciales que deben cumplir los instrumentos o transductores de medición son:

- la compatibilidad química,
- la estabilidad mecánica,
- montaje sencillo e intercambiabilidad en el caso de reparaciones; se debe asegurar la accesibilidad del lugar de instalación,
- la aptitud para la limpieza/desinfección según el proceso CIP,
- que no cause deterioro del producto,
- tiempo de reacción breve,
- que no ocurra una distorsión del valor de medición debido a un lugar de medición desfavorable; por ejemplo: distorsión debida a conducción de calor, formación de depósitos, campos eléctricos.

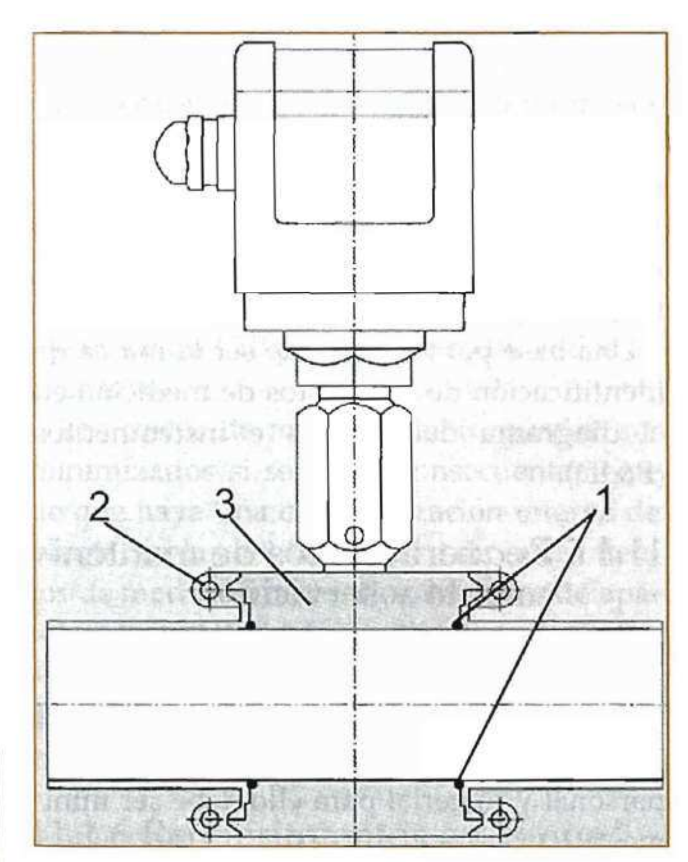
En materiales metálicos, la compatibilidad química se garantiza utilizando aceros inoxidables resistentes a los ácidos (por ejemplo: aquellos con los números de material 1.4301, 1.4401, 1.4541, 1.4571 –al respecto, ver Sección 6.1.2). Estos materiales son resistentes a casi todos los medios utilizados en la fábrica de cerveza.

La estabilidad mecánica generalmente está asegurada al emplearse los materiales mencionados anteriormente. Los límites son impuestos en todo caso por el espesor de pared, que debe ser relativamente delgado si se desea tener tiempos de reacción breves en

transductores de temperatura o gran sensibilidad en presostatos. Las solicitaciones mecánicas que superen a las operacionales pueden presentarse, por ejemplo en el caso de golpes de ariete, como consecuencia de errores de operación, por formación de vacío o por errores de montaje.

Las piezas de conexión son fijadas por medio de conexión roscada, conexión tipo clamp o conexión con anillo de apriete (por ejemplo: en la variante del sistema VARIVENT®). Más raramente se las fija por conexión bridada.

Las medidas de conexión son las de los diámetros nominales usuales de tuberías (preferentemente DN 50, pero también DN 25, 32, 40, 65, 80, 100 –diámetro de tubo en milímetros–).



Pieza de conexión para sensores (Sistema Varivent®, GEA Tuchenhagen)
(1) O' Ring (junta tórica), (2) anillo de apriete, (3) disco de conexión de sensor

Las piezas de conexión son equipadas con los respectivos transductores de medición. Por ejemplo, se sueldan tubos protectores para termoelementos, o las piezas de conexión son construidas como transmisores de presión, en los que se puede enroscar manómetros o presostatos de cualquier diseño. La figura 11.1 muestra ejemplos de construcción para la fijación de piezas de conexión.

Para tuberías se ofrecen frecuentemente carcasas especiales para transductores con dos conexiones; el área de la sección transversal de estas carcasas se agranda para mantener reducida la pérdida de presión debida a la instalación del transductor de presión. Estas carcasas provienen de los sistemas de módulos de válvulas de los fabricantes de accesorios de válvulas y son específicos del fabricante. Las carcasas se sueldan o se las conecta mediante bridas.

La intercambiabilidad de los transductores de medición es facilitada si la magnitud misma de medición no es emitida como señal proporcional, sino que se la convierte y amplifica directamente y se la suministra en forma de señal normalizada. El dispositivo de medición comprende entonces, en una carcasa compacta, al transductor de medición, al amplificador de medición, al convertidor de medición y al indicador de valores de medición.

Con esto se prescinde de los trabajos más o menos laboriosos de tarado y ajuste luego del cambio de transductor de medición, y el esfuerzo de instalación es notablemente menor.

La señal normalizada puede ser, por ejemplo, una tensión de 0 a 10 V o una corriente de 0 a 20 mA o una corriente de 4 a 20 mA. En el último ejemplo mencionado le corresponde una corriente de 4 mA al valor de medición más bajo del rango y una corriente de 20 mA al valor de medición más alto del rango. La señal normalizada mencionada en último lugar permite realizar de

manera sencilla el control de funcionamiento del tramo de transmisión. Una corriente de 0 mA indica, por ejemplo, una rotura de cable. Los valores < 4 mA o > 20 mA también pueden ser evaluados automáticamente para la detección de fallas.

La aptitud para el proceso CIP de limpieza y de desinfección requiere que se cumplan las siguientes exigencias, aparte de la compatibilidad química y la ausencia de zonas muertas y ranuras que ya fueron mencionadas:

- humectabilidad total,
- purga de aire y vaciado automáticos,
- superficies de material que sean lo más lisas posible (rugosidades medias aritméticas que sean lo más reducidas posible; es favorable el electropulido),
- estabilidad frente a la temperatura hasta 100°C (o bien 130°C, si se debe vaporizar).

En algunos transductores de medición de presión se usan fluidos como transmisores de presión. En la industria alimentaria se utiliza para ello aceite comestible o aceite de silicona. En la fábrica de cerveza se debería emplear en las mediciones de producto (mosto, cerveza, levadura, agua) aceite de silicona, que no causa perjuicios a la espuma en el caso de averías.

11.1.4 Requerimientos de la fiabilidad operacional y la seguridad de los equipos

Los procesos seguros y la seguridad de operación presuponen que haya una técnica de medición en funcionamiento. Aparte de una elevada fiabilidad de la técnica de medición se espera que las señales sean estables a largo plazo con esfuerzo mínimo de mantenimiento.

Los instrumentos o dispositivos de medición más recientes frecuentemente son autocontrolados o se taran por sí mismos y se calibran o ajustan automáticamente. Eventuales fallas son evaluadas automáticamente y, dado el caso, se detiene el equipo.

En el caso de exigencias muy elevadas en lo que respecta a la seguridad de operación o en operación automática se debe instalar transductores de medición o dispositivos de medición por duplicado; naturalmente, la detección de fallas y la conmutación deben ocurrir de forma automática; las fallas deben ser registradas en un protocolo y se debe acusar recibo de los avisos de falla.

En el caso de utilización de sistemas de aseguramiento o de gestión de calidad, el control de los dispositivos de medición y de control es un elemento importante que debe ser documentado correspondientemente.

Los siguientes documentos son apropiados para este propósito: plaquetas, estampillas de control o etiquetas adhesivas, en las cuales se puede leer la próxima fecha de inspección, o las cuales identifican un punto de medición como no operable o bloqueado; tarjetas que acompañan el aparato y otros tipos de documentación.

Debería ser normal que todos los instrumentos y los dispositivos de medición estén registrados en un fichero o una base de datos, y sean administrados correspondientemente.

Una base para ello puede ser la marca de identificación de los puntos de medición en el diagrama de tuberías e instrumentos (P&ID).

11.1.5 Requerimientos de mantenimiento y servicio

Para garantizar la capacidad de funcionamiento de la técnica de medición son necesarios el mantenimiento y, dado el caso, el servicio regulares. Por supuesto, el esfuerzo personal y material para ello debe ser mínimo.

Es por ello importante tener en cuenta, ya en la fase de planificación o de proyecto, que todos los controles de funcionamiento o la calibración de la técnica de medición pue-

dan ser realizados con el menor esfuerzo posible.

En mucho casos se puede usar dispositivos de cierre o válvulas de toma de muestras de la planta como posibles puntos de conexión para los instrumentos de medición de comparación; alternativamente, los transductores de medición son fácilmente desmontables y controlables. Es ventajoso si, en las válvulas recién mencionadas, se encuentran disponibles piezas de conexión para realizar aquí la conexión universal de los instrumentos de medición o de patrones de medición.

En muchos casos se puede utilizar los dispositivos de medición existentes en otras secciones de la planta para el control y la calibración. Por ejemplo, es posible controlar caudalímetros por medio de un dispositivo de medición de mosto frío o se registra un caudal (por ejemplo, en el caso de un camión tanque) y se lo controla a través de pesaje. La técnica de medición frecuentemente existente en los equipos de CIP (por ejemplo: medición de caudal magneto-inductiva, sensores de temperatura y conductividad) también puede ser empleada para el control de otros instrumentos de medición; en parte, los medios para CIP pueden ser coutilizados en el ensayo.

Los costos de mantenimiento pueden ser minimizados si se cuida consecuentemente de que haya una estandarización interna de planta, en la cual la cantidad de instrumentos de medición necesarios, los tipos de aparatos, los rangos y las medidas de conexión sean reducidos al mínimo necesario ya en la fase de planificación o durante la adquisición.

11.1.6 Requerimientos en lo que respecta a controles automáticos

Gracias a las reducciones, en parte considerables, de los costos de hardware para controles industriales, los que se fabrican como controles lógicos programables (PLC), pero también gracias al software y sobre todo al mejoramiento y la simplificación del mando de los PLC, estos últimos pudieron "conquistar" para sí este vasto campo de aplicación. Aún no es previsible un fin de este desarrollo satisfactorio.

Las exigencias impuestas a un control deben ser listadas de forma particularmente cuidadosa. En especial, el alcance de las tareas debe ser formulado meticulosamente, también desde el punto de vista de posibles ampliaciones y desarrollos futuros.

Las cuestiones al respecto deben ser consideradas bajo los siguientes aspectos:

- ¿Ya hay controles automáticos (PLC) en la empresa?
- ¿Los PLC individuales serán (pueden ser) puestos en red? ¿Qué ideas existen respecto de la jerarquía deseada en lo referente a los niveles de acceso, la etapa final de ampliación, el registro de los datos de operación, la utilización de los datos?
- ¿Hay ya un estándar de planta para el sistema de bus; alámbrico o por fibra óptica?
- ¿PLC centralizado o PLC descentralizado en la empresa, en la sección, en el equipo?
- ¿Las regulaciones automáticas de magnitudes de proceso o de componentes de planta deben ser realizadas a través de reguladores por hardware o a través de reguladores por software, o en forma combinada?
- ¿Qué envergadura máxima es esperable para el PLC? ¿Qué opciones deben existir para ampliaciones posteriores?
- ¿Qué esfuerzo se desea realizar para el registro de los datos de proceso o de operación

  y cuán amplio debe ser el trabajo de archivo de estos datos?

  ¿Está dada la compatibilidad con software utilitario de oficina?
- ¿Los datos registrados están previstos

para ser utilizados en optimizaciones operacionales, por ejemplo, para el control automático de rechazo de carga o para la determinación de tiempos evitables de falla o tiempos improductivos?

- ¿Qué esfuerzo se desea realizar en la evaluación automática de estos datos, en lo que respecta a la economía empresaria? ¿Cómo puede hacerse la incorporación de los datos a través del software comercial de la empresa?
- ¿Los datos de laboratorio y de análisis deben ser incluidos en los protocolos (desde la materia prima hasta el producto terminado, incluido el seguimiento del producto hasta el comercio)? ¿De qué modo debe realizarse la entrada de estos datos?
- ¿Cuán amplio debe ser el protocolo de proceso, en especial el protocolo de casos de fallas? ¿Qué exigencias deben cumplirse en lo que respecta al valor probatorio según la Ordenanza de Casos de Averías, la Ley de Responsabilidad por Producto Defectuosos, etcétera?
- ¿Es necesario un nivel de mando manual? ¿Qué alcance de tareas debe ser asignado al mando manual? ¿Qué condiciones de enclavamiento de seguridad deben mantenerse también en el caso de mando manual?
- ¿De qué modo debe efectuarse la conexión in situ de accionamientos eléctricos (conexión de reparación)?
- ¿De qué modo debe realizarse el mando in situ de accionamientos neumáticos y eléctricos en el caso de averías o de reparación?

Por principio, el mando manual, o la utilización del nivel de mando manual en un PLC, debería ser la excepción o estar restringido a las situaciones de emergencia o de averías. La utilización debe quedar reservada a un círculo de personas autorizadas (protección por código), que dispongan de la calificación necesaria, y debe ser documentada.

Por otro lado, el nivel de mando manual también es una simplificación considerable para determinadas situaciones; por ejemplo, para ensayos de funcionamiento de componentes de equipos, durante la puesta en servicio de un equipo, para la resolución de situaciones de avería o para la prueba de nuevos procesos.

Estos requerimientos deben ser tenidos en cuenta al establecer los enclavamientos de seguridad que también deben ser efectivos en el nivel de mando manual. Dado el caso, deben establecerse niveles de enclavamiento diferenciados.

El empleo exitoso de un PLC depende de la puesta a disposición de la información necesaria en lo concerniente al estado del equipo:

- a través de sensores para las magnitudes necesarias de medición o de ajuste,
- señales para la disponibilidad de los medios involucrados (por ejemplo: agua, aire comprimido, CO_2, vapor, agentes de limpieza y de desinfección); "aseguramiento contra falta de producto",
- indicaciones respecto de la posición de las válvulas: "abierto", "cerrado", o bien de las unidades de ajuste,
- indicaciones respecto de la posición o existencia de elementos de conexión operables manualmente, tales como codos pivotables,
- indicaciones respecto del estado de conexión de accionamientos.

Requerimientos en lo concerniente a la visualización de los procesos:

La representación de los datos relevantes de proceso en un monitor o en un display ("terminal de operador") debería realizarse sobre la base del diagrama de tuberías e instrumentos (P&ID), el cual puede ser simplificado para este propósito.

El mando del PLC se realiza predominantemente con el "ratón" (mouse) o con dispositivos similares de entrada (trackball, touchpad), o a través de pantalla táctil (touch screen).

El diseño gráfico y la coloración deberían ser realizados bajo los aspectos de claridad y transparencia de los procesos, e intuitividad. Debería darse preferencia al uso de simbología DIN para elementos de planta, tales como válvulas, bombas, intercambiadores de calor y puntos de medición, control y regulación.

En el nivel de visualización se debería mostrar:

- los datos actuales de proceso en una forma relevante para máquinas y aparatos, en el caso de magnitudes de proceso reguladas, también los valores prefijados;
- los programas seleccionados, los pasos de programa actuales y su requerimiento de tiempo, o el tiempo residual todavía necesario de un paso de programa. También son útiles informaciones concernientes a los controles de tiempos de operación y los tiempos de control;
- los estados de conexión de válvulas y accionamientos, a través de diferentes colores de señalización;
- los trayectos de flujo conectados, a través de cambios de color;
- las identificaciones de válvulas, los puntos de medición y bombas, y otros elementos de equipamiento según el diagrama de tuberías e instrumentos (P&ID); estas informaciones deberían poder insertarse o sacarse a requerimiento; lo mismo vale para el nivel de parametrización de los reguladores por software;
- la señalización de averías (de forma óptica, acústica; ¿dónde?; ¿qué?; ¿cuándo?).

En la visualización, los monitores de gran tamaño de pantalla, por supuesto, poseen ventajas en comparación con pantallas de menor tamaño, también desde el punto de vista del reconocimiento de imagen desde diferentes ángulos de visión. Sin embargo, la tendencia es hacia pantallas grandes de TFT.

La cantidad de monitores instalados debería estar determinada según la cantidad de procesos a ser monitoreados paralelamente o bien según el número de cuadros necesarios simultáneamente. Si bien es posible la conmutación entre los cuadros de proceso, ésta insume un gasto de tiempo que no siempre está disponible sin perturbación de los procesos.

El número de puestos de mando o de monitores no debería ser fijado muy pequeño por motivos de ahorro mal entendidos. Al menos, el número de puestos de mando disponibles debería ser establecido de manera tal que, en caso de necesidad, puedan ser preparados puestos de mando adicionales, dado el caso, temporariamente (por ejemplo: en la fase de puesta en servicio de una planta o durante trabajos necesarios de optimización).

Por lo demás, un PLC debe poder ser programable con poco esfuerzo. Las modificaciones o suplementos necesarios en el software, y de los cuadros de proceso, deberían poder ser hechos por los empleados de la empresa.

Lo mismo vale para la parametrización de la planta, para la entrada y modificación de recetas y otros datos.

Requerimientos en lo que respecta a los programas

Debe disponerse de programas para todas las etapas de proceso, o para los procesos mismos, que deban ser ejecutados por un control.

Estos programas son ofrecidos y suministrados generalmente por el contratista del control. Los programas en sí son realizados por los fabricantes de software a partir de "módulos de programa". Éstos son instalados luego en la empresa y adaptados y optimizados durante la fase de puesta en servicio.

Hay dos variantes en la generación de programas:

- El contratista genera los programas necesarios, a partir de los módulos de programa disponibles, según su experiencia y sobre la base de la definición de la tarea o del pliego del contratante. También establece en

esto la cantidad de programas y el contenido de cada uno de éstos, según sus consideraciones. El contratante recibe un software estándar. Éste puede ser óptimo, pero no necesariamente tiene que ser así.

- El contratante comunica al contratista sus ideas detalladas respecto del contenido y de la secuencia de programa para cada uno de los programas. A partir de ello, el contratista desarrolla entonces el software especial utilizando sus módulos de programa. El contratante recibe un software optimizado, que será tanto mejor cuanto más detallada sea la definición de la tarea para realizarlo.

11

La variante mencionada en último lugar es la más ambiciosa, dado que la realización del programa puede tener en cuenta ya desde el comienzo los deseos y las exigencias especiales, y se le suministra al contratante un producto "a medida". La optimización y la adaptación operacional podrán ser realizadas de forma relativamente rápida.

Sin embargo, la condición para ello es que el contratante comunique a tiempo al contratista sus ideas detalladas de los pasos y secuencias individuales de programa en forma de una descripción de programa y/o un diagrama de flujo del programa, o un diagrama funcional.

A los efectos prácticos, los programas deberían ser elaborados, puestos a punto y ensayados en un equipo formado por representantes competentes del contratante y del contratista, por supuesto, antes de la operación de prueba. Del mismo modo se debería elaborar y poner a punto las recetas o bien las instrucciones de proceso necesarias, así como su parametrización. Lo mismo también vale para los cuadros de proceso (diseño, gráfica, contenidos).

Para la reducción de las cantidades de datos se debería archivar en lo posible únicamente los datos que se apartan de los valores prefijados o de las tolerancias predeterminadas. Hay que evitar los "cementerios de datos".

Indicaciones generales

El objetivo debería ser una arquitectura de software abierta que en lo posible sea independiente de proveedores de hardware. Habría que emplear sistemas operativos estándar.

La compatibilidad de datos con el software de oficina debería estar dada.

Los PLC relacionados a objetos y descentralizados, que están integrados en una estructura jerárquica, posibilitan la optimización de los procesos sin afectar las etapas de proceso precedentes y subsiguientes, y son reemplazables de forma relativamente sencilla. En el caso de avería sólo se saca de servicio una parte de la planta.

Si se dispone del software correspondiente, el PLC puede encargarse de la optimización de los procesos para etapas de proceso individuales (fuzzy logic, fuzzy control).

Los costos de instalación, a nivel de campo, para el control de la técnica de accionamientos, de las válvulas y los elementos de regulación, así como la recopilación de información de la técnica de medición, control y regulación pueden ser disminuidos notablemente por medio sistemas de bus de campo (por ejemplo Profibus). Además, la flexibilidad de la tecnología de planta se incrementa considerablemente y se simplifica el registro de datos operacionales.

El servicio de posventa del contratista/proveedor seleccionado es de especial importancia. Se debe tratar de obtener una garantía de período de servicio para el suministro del hardware y el mantenimiento del software, la que estará asegurada por un banco.

Se debería establecer acuerdos concretos en lo referente a la disponibilidad del hardware y del software, y al tiempo de reacción del servicio de mantenimiento.

El diagnóstico, o bien el servicio del control

a distancia, en particular del software, por medio de módem ISDN u otras vías, gana cada vez más en importancia (reducción de costos).

11.2 Planificación de planta

11.2.1 Introducción

La planificación de planta es un amplio campo de especialización, en el cual el tecnólogo (el cervecero, el maltero, el tecnólogo de bebidas) y el constructor de plantas deben trabajar mancomunadamente en forma muy estrecha. En esto, el constructor de plantas debe abarcar un campo de trabajos muy vasto; por ejemplo: las máquinas, los aparatos y los equipos para la maltería, la fábrica de cerveza, el envasado de las bebidas con inclusión de la producción de bebidas sin alcohol, el almacenamiento y el despacho de las bebidas, el abastecimiento de los equipos con agua, energía térmica y eléctrica, aire comprimido, dióxido de carbono, la eliminación para desecho de las heces, las aguas residuales y los desechos provenientes del envasado.

11.2.1.1 Consideraciones generales concernientes a la planificación de planta

El volumen de tareas correspondiente a la planificación y realización de plantas puede ser muy variado. Depende de la definición de las tareas. Ésta puede tener como objetivo, por ejemplo:

- la construcción nueva de una planta,
- el reemplazo de componentes individuales de la planta,
- el reemplazo de una planta completa,
- el cumplimiento de requisitos oficiales resultantes de la legislación.

Las plantas se componen de elementos individuales de planta (máquinas, aparatos, tuberías, válvulas, etc.). Frecuentemente están encadenados con elementos especiales de transporte. Las plantas son formaciones completas y operativas para la fabricación de un producto. Están compuestas por las plantas de producción y las secundarias, necesarias para la operación.

Junto con el equipamiento en máquinas y aparatos, a una planta pueden pertenecer también los edificios o las instalaciones estructurales, incluyendo los equipos necesarios para suministros (agua, calentamiento, aireación, climatización, sanitarios, iluminación, etc.).

A las plantas de producción en la industria de fermentación y de bebidas pertenecen los equipos para recepción, tratamiento y almacenamiento de la materia prima, equipos para el procesamiento de la materia prima hasta un producto (final) vendible; por ejemplo: equipos de malterías, equipos para fábricas de cerveza, equipos de envasado, equipos de limpieza y de desinfección, incluyendo el almacenamiento de productos químicos.

A las plantas secundarias en la industria de fermentación pertenecen, por ejemplo, las plantas para la provisión de energías (energía térmica, frigorífica y eléctrica, y suministro de aire comprimido), para el suministro de CO_2, para el suministro y tratamiento de agua, para la recolección de aguas servidas, la evacuación de éstas y, dado el caso, su tratamiento para la extracción y procesamiento de productos secundarios (heces, CO_2) y desechos, así como otras plantas que no pueden ser incluidas entre las plantas de producción.

Los *elementos de planta* son los componentes funcionales más pequeños que, en general, no pueden continuar siendo descompuestos en otros. Ejemplos de éstos son: bombas, compresores, intercambiadores de calor, motores de accionamiento, contenedores.

Los aparatos son elementos de planta que esencialmente no poseen partes móviles. Por lo general sirven para el suministro o la toma de energía o materiales en relación con un producto a tratar.

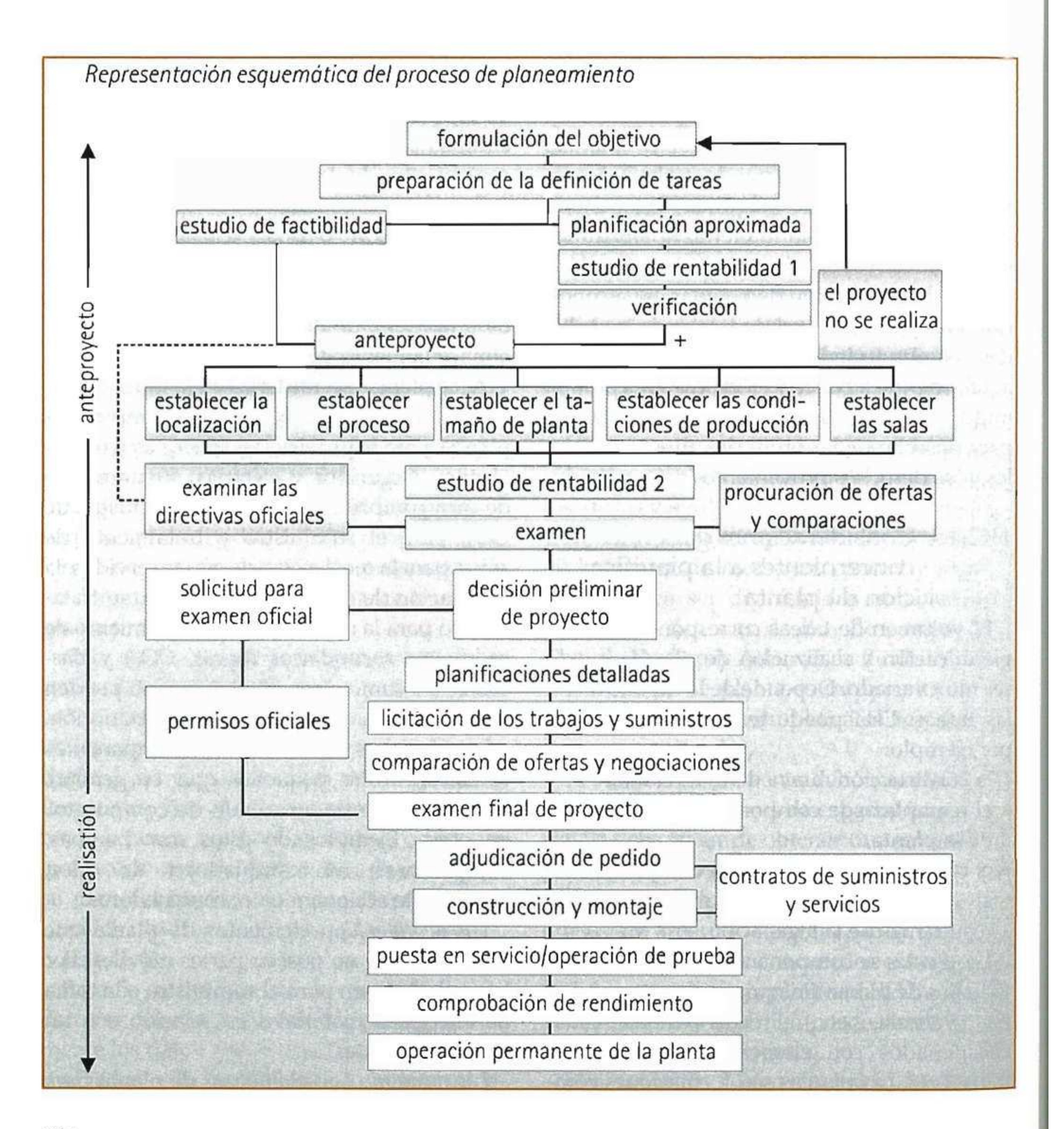
Las máquinas son elementos de planta para

la realización de trabajo mecánico, que transmiten la acción de la fuerza al producto a tratar. Poseen piezas móviles que se mueven según las leyes de la física.

11.2.1.2 Generalidades respecto del desarrollo de la planificación de planta

La planificación de planta es un proceso iterativo, cuyo avance depende de que la verificación de los resultados intermedios y sus consecuencias sea realizada de forma continua y paralela a la planificación.

A continuación se representa de forma esquemática el proceso de decisiones por pasos graduales para la planificación de plan-



ta. Conforme a ese sentido, este esquema puede ser utilizado para todas las formas de planificación de planta y también puede ser simplificado.

La base para toda la actividad de planificación es la formulación del problema a solucionar. Como base pueden servir para esto concepciones de desarrollo empresario, nuevos desarrollos de productos, análisis de mercado, análisis de los costos operativos, análisis del nivel tecnológico, conocimientos del mantenimiento, etc.

A partir de estos datos se elabora una definición de tareas, la que debe describir el problema a solucionar en todos sus aspectos y de forma amplia. Cuanto mejor es la definición de tareas, tanto mayor es la probabilidad de que los trabajos, planificaciones o pedidos derivados de aquella cumplan con el resultado esperado.

Sobre la base de la definición de tareas puede hacerse una primera planificación aproximada, sobre cuya base puede verificarse primeramente la factibilidad o bien la rentabilidad. Esta verificación se denomina también "estudio de factibilidad".

Si la planificación aproximada parece cumplir la solución deseada, se puede elaborar un anteproyecto, el cual, a su vez, es sometido a un estudio de rentabilidad. En forma paralela a este anteproyecto ya se puede realizar los primeros trabajos para la planificación de permisos oficiales.

El anteproyecto ya debe contener información, que sea lo más detallada posible, respecto de la localización deseada, del proceso, del tamaño de planta, de la forma de producción, de los suministros y evacuaciones y respecto del concepto de las salas. Sobre esta base se debe procurar ofertas de los proveedores a tener en cuenta para suministros y servicios. Estas ofertas deben dar especialmente información respecto de los costos esperados de inversión y de operación.

Si un nuevo estudio de rentabilidad no suministra conclusiones substancialmente nuevas y el concepto es viable para ser realizado, se puede tomar la decisión para la realización del proyecto. Esta decisión puede implicar considerables consecuencias, en especial de tipo financiero. Es por ello que debe ser preparada meticulosamente para excluir malas inversiones y minimizar el riesgo residual. La gestión de costos debe comenzar a más tardar con la decisión a favor del proyecto.

Los próximos pasos son:

- la ulterior planificación de ejecución y de detalle,
- la procuración de ofertas sobre la base de definiciones de tareas o bien licitaciones del alcance de suministros y servicios, en ambos casos, elaboradas esmeradamente,
- el examen de las ofertas,
- las negociaciones de las ofertas y la selección final y esmerada del proveedor, la cual finaliza con la adjudicación del pedido para el alcance de suministros y servicios.

Los siguientes pasos importantes hasta la puesta en servicio son los trabajos de construcción y montaje, la preparación de la operación de prueba y la capacitación de los empleados sobre la base de las instrucciones obligatorias de proceso y de trabajo.

Un problema no insignificante en el suministro de una oferta en firme, en lo que respecta al alcance de suministros y servicios y al precio, consiste en que el ofertante debe invertir mucho trabajo de detalle para cumplir con la condición "en firme" sin saber si obtendrá la adjudicación. Pero, por otro lado, un cálculo exacto de los suministros y servicios ofertados sólo puede ser realizado si el alcance de la oferta puede ser acotado definitivamente.

La planificación de proyecto abarca todas las fases o bien los detalles de un proyecto. Esto incluye, por ejemplo:

- la planificación de la financiación,
- la planificación de los permisos,
- la planificación de procesos y sistemas,

- la planificación de objetos y de detalle,
- la planificación de la localización,
- la planificación de construcciones y edificios,
- la planificación de adquisiciones,
- la planificación de provisiones,
- la planificación del desarrollo y la ejecución,
- la planificación de suministros y evacuaciones,
- la planificación de la puesta en servicio y la capacitación de los empleados, etc.

La gestión de proyecto asegura el desarrollo y el control del proyecto en su totalidad y comprende a los colaboradores más importantes del grupo de proyecto.

11

11.2.2 Principios básicos de la planificación de planta

La planificación de planta debe ser una parte de la planificación de la empresa y debe estar basada sobre un trabajo continuo y sistemático.

Las planificaciones empresaria, financiera, de inversiones y de planta a mediano y largo plazo deben abarcar, por ejemplo, todos los aspectos y áreas de negocios esenciales, la calidad de producto, la paleta y el equipamiento de los productos, el desarrollo de los empleados, los costos operativos y el producto de las ventas, las cuestiones de localización, la logística, el mantenimiento de las plantas y edificios, el suministro de energía y agua, y la evacuación de aguas residuales, desechos, etc., la gestión ambiental, etc.

Tales planificaciones no deben ocurrir apremiadas por el tiempo y deben estar orientadas al futuro. Es importante la actualización continua de los datos para reaccionar rápidamente a los cambios en la situación de partida o del mercado.

En todas las fases de la planificación y construcción de plantas deben ser observadas las cuestiones referentes a la protección contra accidentes y a la seguridad técnica.

Los principios básicos legales de la planificación de planta

En la planificación y construcción de planta deben tenerse en cuenta las disposiciones legales nacionales. La legislación nacional en los estados de la Unión Europea (UE) debe estar naturalmente en concordancia con la legislación de la UE (disposiciones de la UE, directivas de la UE). En los diferentes países fuera de la UE hay que tener en cuenta las reglamentaciones y regulaciones nacionales. El "Catálogo DIN para Reglas Técnicas" es una fuente importante para las normas, regulaciones y principios básicos legales a tener en cuenta en Alemania, en especial en lo referente a la protección medioambiental a nivel de la UE, federal y provincial.

El tamaño y el alcance del proyecto en concreto determinan qué leyes, ordenanzas y reglamentaciones deben ser tenidas en cuenta. Es por ello que se debe comenzar a averiguar las reglamentaciones legales en cuestión lo más pronto posible en la fase de planificación. Esto debería realizarse en colaboración con la autoridad competente de aprobación y supervisión.

En general deben tenerse en cuenta en Alemania las siguientes reglamentaciones legales:

1. permisos según la legislación medioambiental,
2. permisos legales en materia de construcción,
3. permisos para plantas que requieren supervisión de acuerdo con el código industrial,
4. permisos, autorización y aprobaciones en lo referente a la legislación de aguas,
5. permisos para la eliminación para desecho de materiales residuales,
6. otros permisos.

Propósito y términos importantes de las leyes medioambientales

El propósito de la legislación medioambiental es "...proteger seres humanos, animales y plantas, el suelo, el agua, la atmós-

fera, así como bienes culturales y otros bienes contra efectos dañinos del medio ambiente, asimismo contra peligros, desventajas y perjuicios substanciales que puedan provenir de plantas que requieren permisos". Debe prevenirse también la formación de influencias medioambientales deteriorantes.

De esto resulta una amplia importancia para la planificación y la realización de planta. En la legislación medioambiental se definen términos esenciales según esta ley. Éstos son sobre todo:

- *Emisiones:* son contaminaciones del aire, ruidos, vibraciones, luz, calor, radiaciones y fenómenos similares que salen de una planta.
- *Inmisiones:* son contaminaciones del aire, ruidos, vibraciones, luz, calor, radiaciones e impactos medioambientales similares que tienen efecto sobre seres humanos, animales, plantas, el suelo, el agua, la atmósfera, así como bienes culturales y de otro tipo.
- *Contaminaciones del aire:* son cambios en la composición natural del aire, sobre todo, humo, hollín, polvo, gases, aerosoles, vapores, substancias odoríferas.
- *Plantas:* son locales de trabajo, dispositivos, máquinas, equipos y dispositivos móviles, vehículos y terrenos, sobre los que se almacena o se trabaja, y en los que es posible generar emisiones.

Una medida para la evaluación de impactos medioambientales, influencias dañinas o perjuicios son las reglas reconocidas de la técnica o el estado actual de la técnica:

Desarrollo de un procedimiento de autorización para una planta que requiere autorización (esquemáticamente).

Elaboración de una definición de tareas para el objeto de inversión.
Discusión preliminar con la autoridad de aprobación en lo que respecta al objeto de inversión.
Formulación de la documentación de solicitud.
Entrega de la solicitud.
Examen de completitud de la documentación de solicitud.
Examen de la solicitud por parte de las autoridades competentes.
Aviso de permiso con requisitos en caso de necesidad.
Preparación, construcción y montaje de la planta.
Operación de prueba/puesta en servicio.
Aceptación de la planta por parte de la autoridad de aprobación.

11.2.3. Variantes para la ejecución de la planificación y realización de planta

La planificación y realización de planta involucra al menos a dos socios:

- al contratante, que generalmente es también el futuro operador de la planta, y
- al contratista.

El contratante es por lo general también el propietario y debe asumir sus deberes y responsabilidades como tal.

Entre ambos puede encontrarse, al menos en el caso de plantas de mayor tamaño, un gerente de proyecto o una gerencia de proyecto. El gerente o la gerencia de proyecto está a cargo de toda la gestión de proyecto.

El contratante debe formular exactamente sus deseos en lo que respecta al alcance de suministros y servicios, o hacer que aquellos sean formulados por terceros, por ejemplo, en una definición de tareas. Para esto son usuales los sinónimos descripción de servicios o des-

cripción de suministros, pliego de condiciones, pliego de especificaciones y especificación de insumos.

La elaboración exacta, meticulosa y completa de la definición de tareas (o bien los términos sinónimos mencionados antes) tiene una importancia fundamental. Todos los detalles faltantes del alcance de suministros y servicios conducen a ofertas o pedidos incompletos, con la consecuencia de costos crecientes de forma desproporcionada en el caso de corrección de un pedido adjudicado y plantas que no están en condiciones de funcionar o que tienen fallas.

11

Sobre la base de la definición de tareas se elabora un pliego técnico.

El pliego técnico es la base para procurar ofertas con las mismas premisas y condiciones para todos los ofertantes requeridos. Posibilita a diferentes empresas a entregar una oferta comparable para un alcance de suministros y servicios claramente definido y postularse con ello para un pedido.

Quien elabora el pliego espera recibir así ofertas que sean comparables directamente y examinables y negociables sin mucho esfuerzo. Es por ello que el pliego técnico debe ser elaborado de forma detallada y meticulosa. Debería ser transparente y estar claramente estructurado. Debe obligar al ofertante a suministrar todos los detalles exigidos en el orden y con la información deseados.

Los siguientes puntos son partes importantes del pliego técnico:

- La descripción de los suministros y servicios del ítem demandado. Esto incluye entre otros:
  - una descripción detallada del objeto o de la planta requeridos, dado el caso, planos de las superficies o salas disponibles, planos de existencias, planos de ubicación, planos de trazado, planos de tuberías e instrumentos;
  - especificaciones obligatorias respecto de estándares de la empresa que deben ser cumplidos (materiales, acabados superficiales, proveedores especiales para válvulas, bombas, tuberías, equipamiento eléctrico, cables, motores, motorreductores, equipos de medición, control y regulación, gabinetes eléctricos, colores, tecnología de seguridad, aislaciones térmicas, sistemas de pintura, etc.) y detalles técnicos;
  - establecimiento de los límites de suministro y servicio;
  - información respecto de la capacidad;
  - información respecto de los datos operacionales característicos y de los valores de conexión de los medios necesarios (agua, aguas residuales, calor, frío, energía eléctrica, aire de trabajo, CO_2, aire estéril, productos químicos, hojas de datos de seguridad);
  - información respecto de las especificaciones de montaje y los desarrollos de montaje, instalaciones de la obra y reglamento de obra, seguridad de obra, dirección de obra, jefatura de montaje, plazos a cumplir, garantías exigidas (por ejemplo: parámetros tecnológicos, capacidad/producción/rendimiento, valores de consumo específicos, tiempos de preparación, requerimiento de personal, gastos de limpieza, mantenimiento, servicio posventa);
  - documentación exigida;
  - marcaciones y rotulaciones;
  - especificaciones para embalaje y transporte, así como eliminación para desecho de los materiales de embalaje y los residuos de montaje.
- Información general: por ejemplo: indicar la persona de contacto en la empresa para preguntas, momento o plazo para la entrega de la oferta, el plazo vinculante para la oferta, la información de que la oferta es sin costo y sin obligación para el contratante y que el contratante puede realizar una adjudicación según su propio criterio sin obligación alguna para con la oferta más económica.

- Informaciones respecto de las condiciones de contrato deseadas: por ejemplo: condiciones de pago, fechas para suministro, montaje, puesta en servicio, comprobación de rendimiento, entrega de la documentación de proyecto, capacitación de los empleados, lugar de entrega y cargo de los costos de transporte, de descarga y de montaje, seguros de transporte y de montaje.
- Informaciones para garantías bancarias, garantías de montaje y terminación, garantías de mantenimiento, obligaciones de garantía, traspaso de avales y penalizaciones contractuales por no cumplimiento de los parámetros de garantía, de los plazos de suministro, montaje y puesta en servicio, cargo de los costos para comprobaciones de rendimiento, aceptaciones y peritajes.
- Condiciones generales de suministro y de montaje, exclusiones de responsabilidad (por ejemplo: para herramientas, materiales de montaje, etc.).

Si para la elaboración de la definición de tareas o del pliego técnico se contratan proveedores de plantas, se debe cuidar de que se realice un servicio que no esté ligado a proveedor alguno a los efectos de excluir ventajas unilaterales de un candidato y asegurar un trabajo objetivo.

Una vez que, para el alcance proyectado de suministros y servicios, han sido procuradas, examinadas y negociadas las ofertas sobre la base de la definición de tareas o de pliego técnico confirmado, se puede adjudicar el pedido mediante celebración de un contrato de suministros y servicios correspondiente.

La planificación en sí de la planta –la planificación de detalle– es efectuada en general por el proveedor de la planta luego de la adjudicación del pedido. La base para ello está constituida naturalmente por los trabajos preliminares que el ofertante ha debido realizar ya para la elaboración de la oferta.

El contratista debe realizar los trabajos sobre la base de contratos de suministros y servicios. El objetivo del contratante será mantener el número de contratistas tan pequeño como sea posible a fin de minimizar los trabajos de coordinación y aliviar la gestión de proyecto. Debe recordarse permanentemente en esto que con estos trabajos también puede estar involucrado el propio riesgo respecto de las consecuencias de excesos de plazos y costos.

Desde el punto de vista del contratante, estas cuestiones son más fáciles de solucionar si un contratista es contratado como contratista general, que también debe coordinar a todos los contratistas participantes como subcontratistas.

Desde el punto de vista del contratante se debe tratar siempre de adjudicar el pedido a un solo contratista, que actúa como contratista general. Sin embargo, debe tenerse en cuenta en esto que una actividad de contratista general involucra costos (éstos se rigen generalmente según el nivel de los costos de inversión y son una parte porcentual de este valor).

Debido a los motivos mencionados anteriormente, los proyectos en la construcción internacional de plantas se licitan generalmente como proyectos "llave en mano", en los cuales un posible contratista oferta y suministra, como contratista general, una planta llave en mano (en inglés: turn-key plant).

11.2.4 Documentos y datos importantes de la planificación de planta

11.2.4.1 Indicaciones generales

Junto con las formulaciones verbales, para la planificación de planta se utilizan en particular datos y documentos gráficos para la aclaración de los objetivos formulados y para el entendimiento con las partes participantes.

Éstos deben ser fáciles de entender; tendrán en cuenta normas y reglas existentes y ten-

drán un gran valor informativo con reducido esfuerzo para su elaboración. Lo mismo vale para todas las fases subsiguientes de planificación y realización de proyecto. Los documentos en cuestión son sobre todo:

- diagramas de flujo,
- esquemas,
- planos y
- listas.

Estos desarrollos se hacen en general como procesos iterativos (repetitivos). Según el nivel requerido de información, en el marco de la preparación o realización del proyecto, se diferencian:

- el esquema de procesos,
- el diagrama básico de flujo,
- el diagrama de flujo de procesos y
- el diagrama de tuberías e instrumentos (P&ID).

En el pasado se utilizaba para ello, en parte también, el término "esquema tecnológico". El uso del término "esquema" en vez de "diagrama de flujo" no está permitido.

Otros documentos importantes son, por ejemplo: una descripción de procesos técnico-tecnológica, planos de ubicación, planos de edificación, planos de disposición, planos de tuberías y planos para todos los medios, planos de trazado para tuberías, para conductores eléctricos, conductores de información y conductores bus, esquemas y planos de montaje, diagramas de flujos de cantidades, en parte realizados como diagramas Sankey, listas de equipamiento para máquinas, aparatos, técnica de medición, control y regulación, tuberías, válvulas, material de montaje, etc., listas de piezas de recambio y de desgaste, planos constructivos de todo tipo, planes para personal y capacitación, planos para pruebas de funcionamiento y la puesta en servicio, planos de mantenimiento, reparación y servicio, planos de lubricación, planos de limpieza y de desinfección, instrucciones de procedimiento y de trabajo, manuales de operación, planos de servicio invernal, planes antiaverías.

Para la elaboración de diagramas básicos de flujo, diagramas de flujo de procesos y diagramas de tuberías e instrumentos (P&ID) y otros planos deben tenerse en cuenta las normas correspondientes.

Estas son, en Alemania en particular, las normas DIN 28004 (Diagramas de flujo para plantas de procesos, Partes 1 a 4) y DIN 19227 (Símbolos gráficos y letras de identificación para la técnica de control de procesos, representación y tareas).

Respecto del desarrollo metódico:

Tan pronto como los diagramas de flujo de procesos están terminados en sus partes esenciales, se puede elaborar a partir de éstos las definiciones de tareas para las otras fases de la obra, en particular para la construcción civil (ingeniería estructural y civil y ampliaciones), el abastecimiento y las evacuaciones, el montaje, etc.

Además, son la precondición para la confección de otros planos y esquemas mencionados antes (planos de tuberías, de montaje), así como listas de piezas para los pedidos de los elementos de equipamiento de máquinas y aparatos y demás materiales.

En el caso de haber construcción existente también es posible el camino inverso: el esquema posible de procesos se desarrolla a partir de la cantidad de espacio y superficie disponibles.

11.2.4.2 El esquema de procesos

Este esquema es en principio el primer borrador de un proceso proyectado. Debe contener los pasos de proceso esenciales, mostrar las relaciones y las conexiones básicas. Los esquemas de procesos se utilizan también frecuentemente para presentaciones, afiches, etc.

El diseño no está regulado por normas. En la Figura 11.2 se muestran ejemplos de diseño de los elementos. En general, el flujo de producto se representa en forma vertical, de arriba hacia abajo. El grado de detalle puede

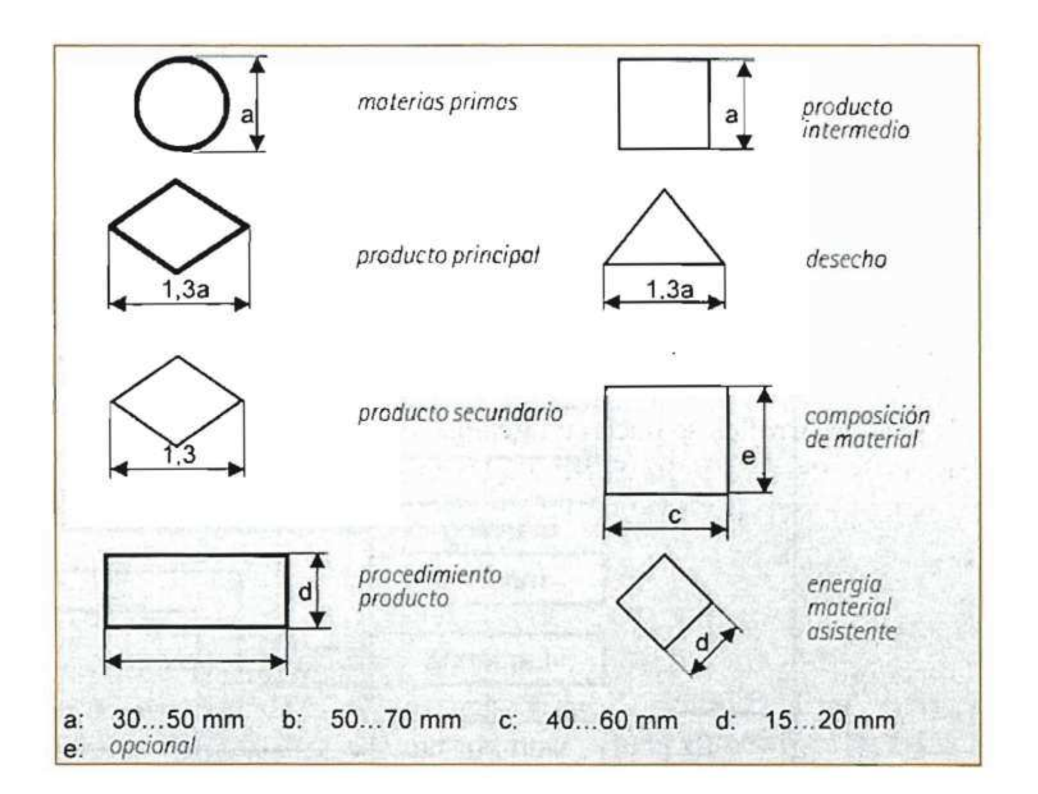


Figura 11.2
Ejemplos de diseño de elementos para esquemas de procesos

ser ilimitado. En la Figura 11.3 se puede ver un ejemplo de un esquema de procesos.

11.2.4.3 El diagrama básico de flujo

El diagrama básico de flujo es la forma más sencilla de representación de un proceso o de una planta con tecnología de procesos. Para la representación se utilizan secciones de proceso, operaciones básicas, partes de equipos, rectángulos, etc., que son conectados mediante líneas.

Las líneas de conexión representan las líneas de flujo de energías o materiales.

Se muestran informaciones básicas e informaciones adicionales de las substancias participantes, los trayectos de flujo y los procesos característicos. En la Figura 11.4 se muestra un diagrama básico de flujo.

11.2.4.4 El diagrama de flujo de procesos

En el diagrama de flujo de procesos se utilizan símbolos gráficos para la representación de los elementos de un proceso, que están conectados por medio líneas de flujo de energías y materiales.

(En Alemania, los símbolos gráficos se deducen de Norma DIN 28004, Parte 3, la representación y la denominación se realizan según las reglas de la Norma DIN 28004, Parte 2 y Parte 4; los puntos de medición, control y regulación son realizados según la Norma DIN 19227, Parte 1.)

La información básica de un diagrama de flujo de procesos consiste, entre otros, en los elementos de planta necesarios y sus denominaciones (sin máquinas de accionamiento), los trayectos de flujo de materiales y energías, sus denominaciones y cantidades, y las condiciones operacionales características, en especial desde el punto de vista de la limpieza y la desinfección, la forma trabajo pobre en O_2, la seguridad de proceso, aspectos cualitativos y la disminución de la merma, dado el caso, en forma de una descripción de proceso aclaratoria.

La información adicional comprende, entre otros, los caudales y cantidades característi-

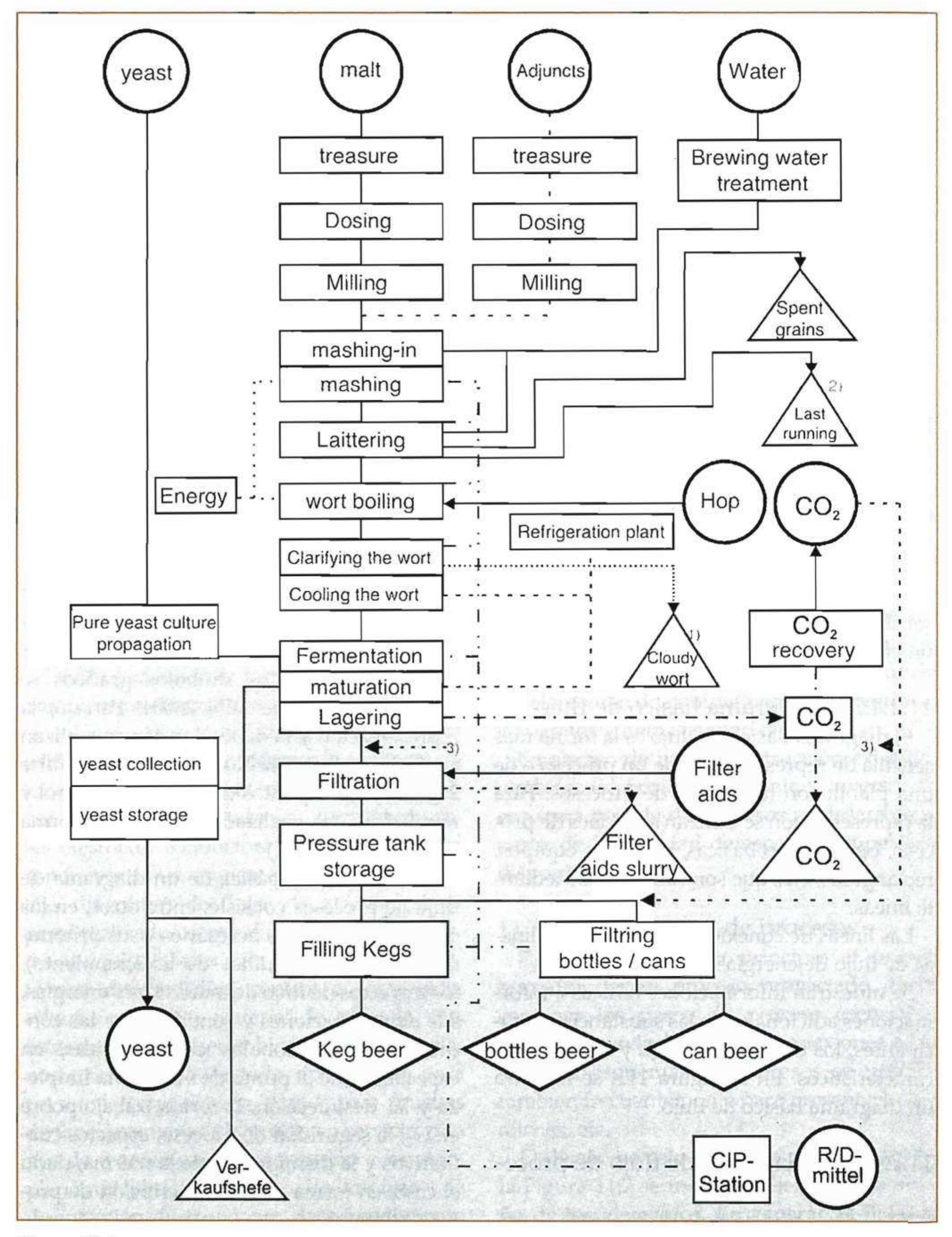


Figura 11.3
Ejemplo de un esquema de procesos "Fabricación de cerveza"

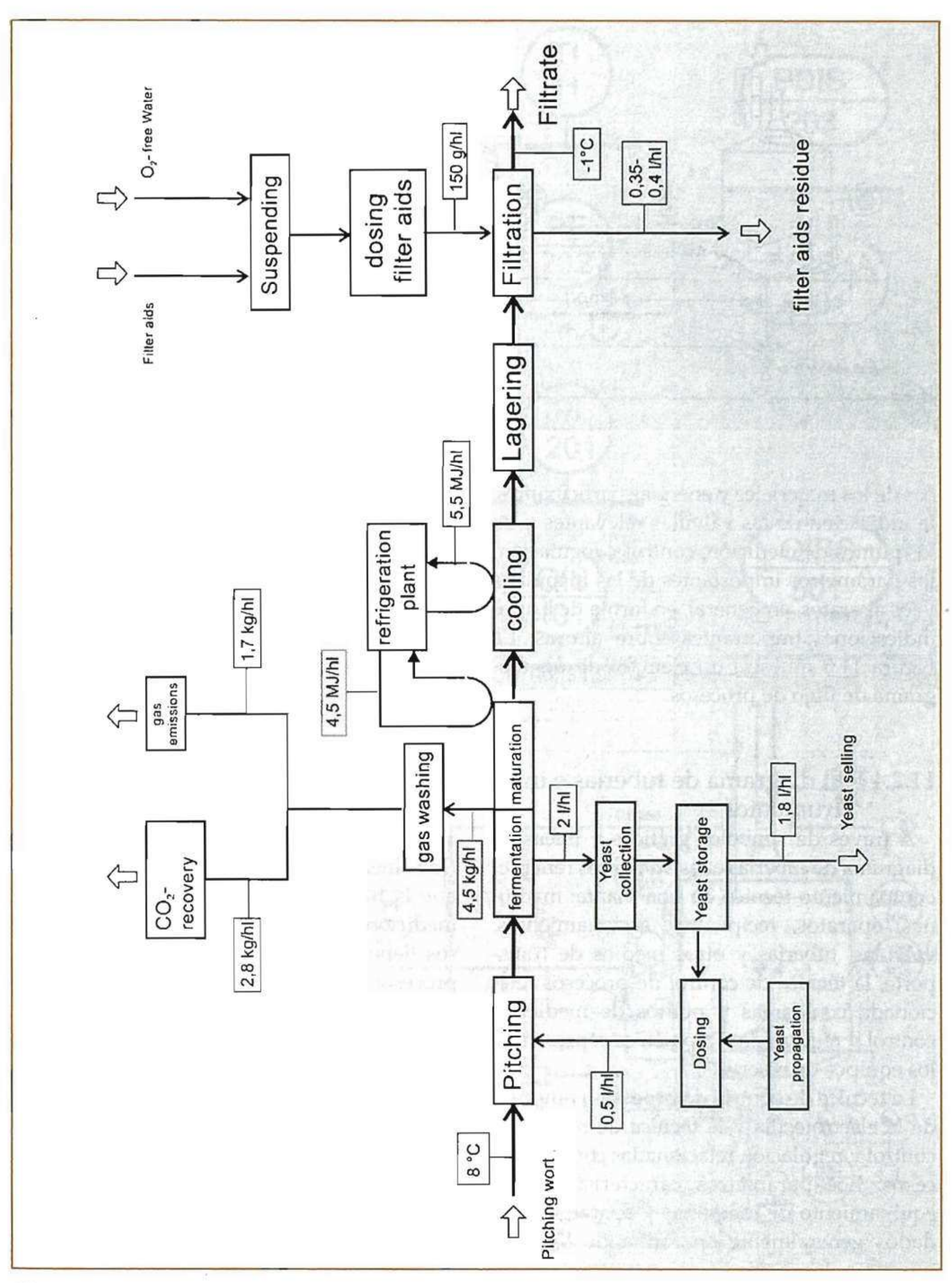


Figura 11.4: Ejemplo de un diagrama básico de flujo

11

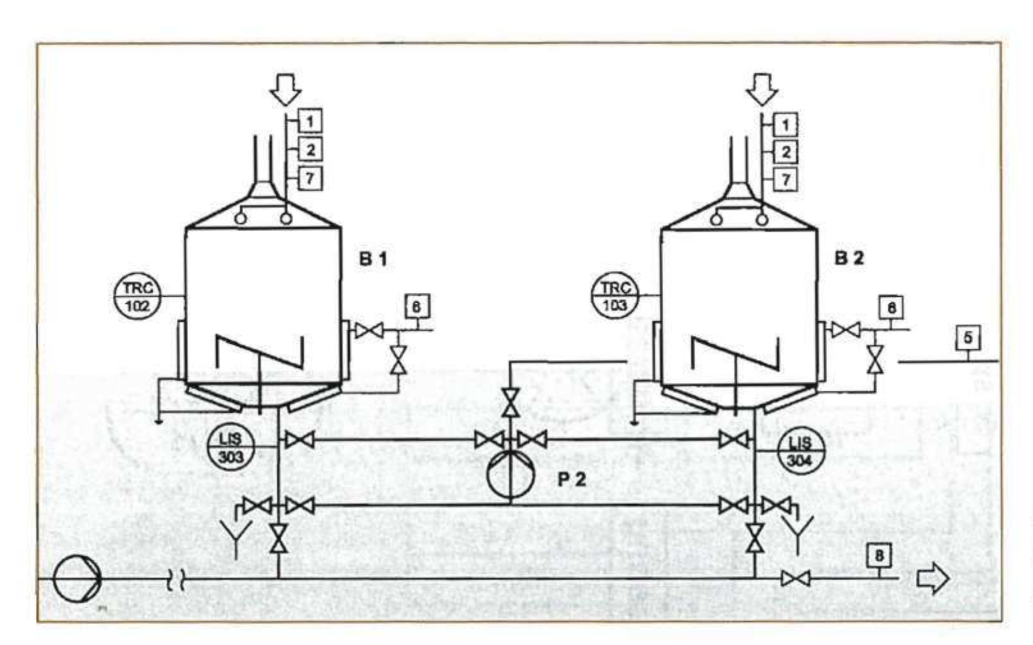


Figura 11.5
Ejemplo de un diagrama de flujo de procesos

cos de los materiales y energías participantes, la indicación de las válvulas relevantes y de los puntos de medición, control y regulación, los parámetros importantes de las máquinas y los aparatos, en general, en forma de lista, e indicaciones importantes sobre alturas. La Figura 11.5 muestra un ejemplo de un diagrama de flujo de procesos.

11.2.4.5 El diagrama de tuberías e instrumentos

A través de símbolos gráficos y líneas, el diagrama de tuberías e instrumentos refleja el equipamiento técnico de una planta: máquinas, aparatos, recipientes, accionamientos, válvulas, tuberías y otros medios de transporte, la técnica de control de procesos relacionada con tareas y puntos de medición, control y regulación. También se representan los equipos de reserva.

La técnica de control de procesos comprende la electrotecnia y la técnica de medición, control y regulación relacionadas con los procesos. Los parámetros característicos del equipamiento de máquinas y aparatos están dados generalmente en forma de lista. Se muestran los parámetros característicos de las tuberías (DN, PN, materiales, numeración, etc.) y accionamientos. Las tuberías y las válvulas, las máquinas y los aparatos, así como los puntos de medición, control y regulación deben ser dibujados con la función, la asignación y la instalación correctas.

(En Alemania, el diagrama de tuberías e instrumentos debe ser realizado teniendo en cuenta las Normas DIN 28004, Parte 2 a Parte 4 y DIN 19227, Parte 1.)

Los puntos de medición son representados por un círculo (o bien por uno ovalado redondeado), que está conectado con la posición de medición a través de una línea de referencia. Una línea de separación horizontal muestra que la indicación y el servicio del valor de medición o de la técnica de control de procesos tienen lugar en el puesto de control de procesos. Es decir, no ocurren in situ.

Las letras de identificación dan información sobre la magnitud de medición y su procesamiento. Se las escribe en la mitad superior. En la Tabla 1 y en la Tabla 2 se muestran ejemplos de letras de identificación de magnitudes de medición importantes y de su procesamiento. En la Figura 11.6 es posible ver ejemplos de puntos de medición, control y regulación en diagramas de flujo.

En la mitad inferior de los símbolos se puede anotar un número de conteo que regis-

tra los puntos de medición, control y regulación de forma continua. Los primeros dígitos también pueden ser utilizados para la diferenciación y localización de las magnitudes de medición dentro de la planta. En la Figura 11.7 se muestra un diagrama de tuberías e instrumentos (P&ID) como ejemplo.

Como complemento de los símbolos gráficos listados en la Norma DIN 28004, Parte 3 se muestran en la Figura 11.8 algunos otros símbolos no normalizados que son usados frecuentemente en la industria de fermentación y de bebidas.

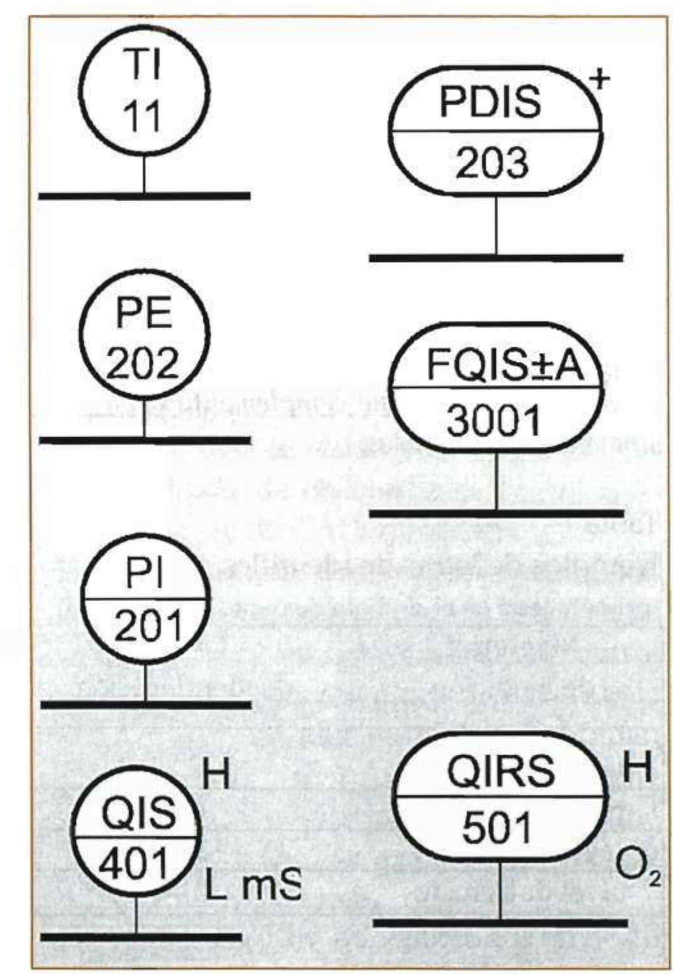
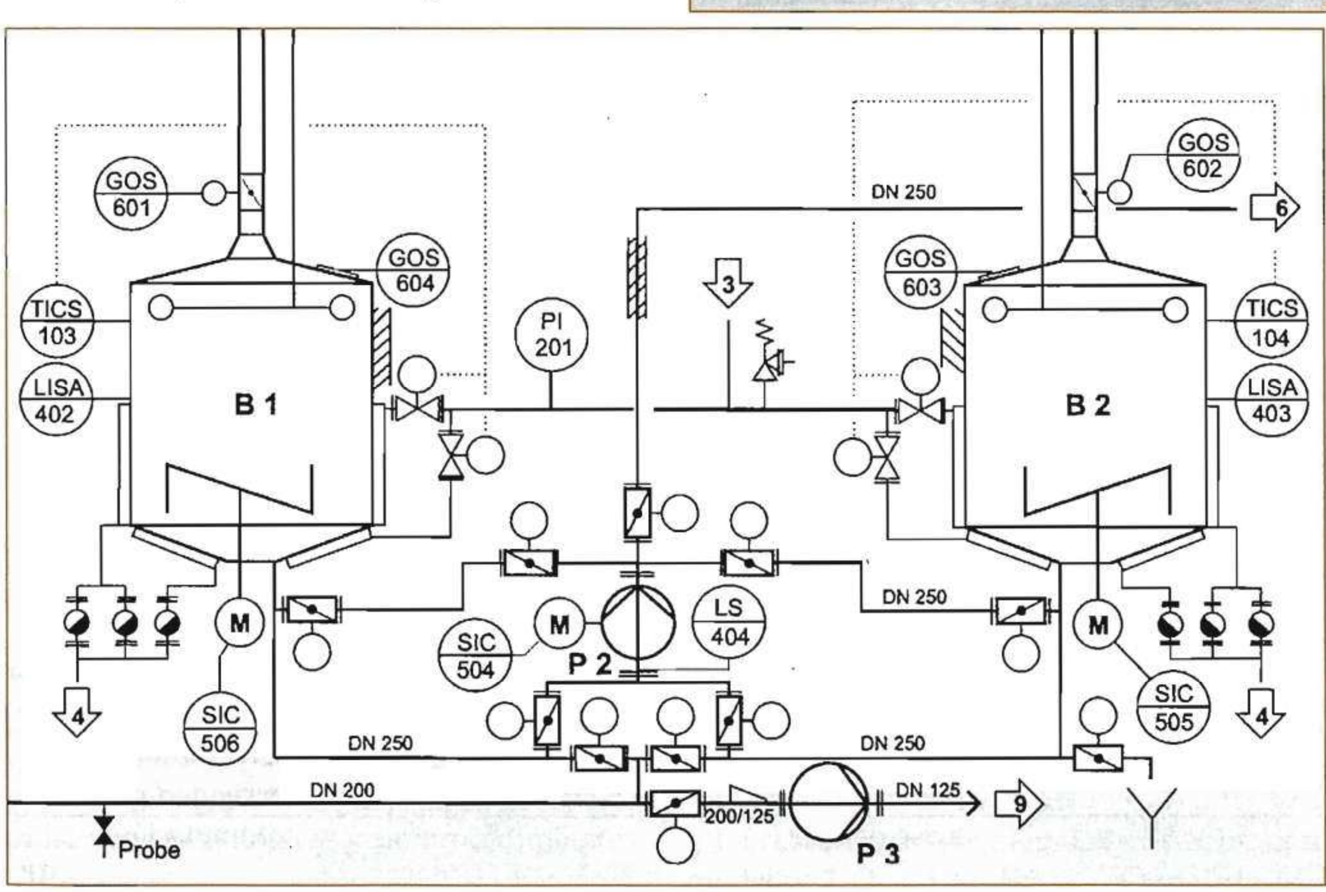


Figura 11.6
Ejemplos de caracterización de puntos de medición, control y regulación en diagramas de tuberías e instrumentos (PI&D)

Figura 11.7
Ejemplo de un diagrama de tuberías e instrumentos (PI&D) con informaciones básicas y adicionales



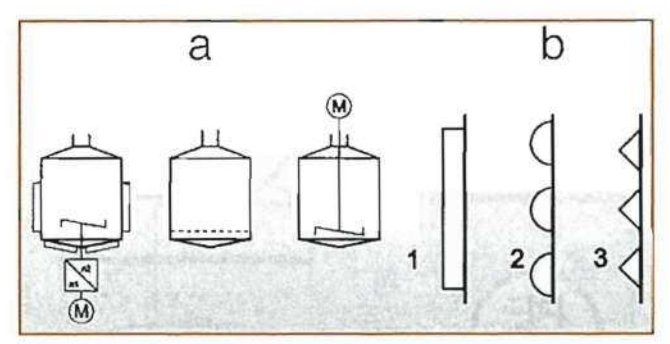


Figura 11.8
Símbolos gráficos como complemento de los símbolos normalizados

11.2.4.6 Planos de tuberías y de montaje

Los planos de tuberías y de montaje se realizan frecuentemente como representación isométrica a los efectos de mejorar la claridad, sobre todo para el personal de montaje.

En principio se puede desarrollar planos de tuberías y de montaje a partir del diagrama de tuberías e instrumentos si éste está correspondientemente detallado y teniendo en cuenta los planos de disposición.

Tabla 1
Ejemplos de letras de identificación para magnitudes de medición/magnitudes de entrada
(primera letra en el símbolo de punto de medición)

Magnitud de medición	Letra de identificación	Magnitud de medición	Letra de identificación
temperatura	T	posición	G
presión	P	velocidad	S
caudal	F	masa	W
nivel de llenado	L	humedad	M
intervención manual/ entrada manual	H	magnitud cuantitativa o propiedad de materia (p. ej. valor pH, contenido de O_2, contenido de CO_2, conductividad)	Q

Tabla 2
Ejemplos para el procesamiento de la magnitud de medición
(segunda letra y subsiguientes en el símbolo de punto de medición)

Letra de identificación	Procesamiento de la magnitud de medición	Letra de identificación	Procesamiento de la magnitud de medición
I	indicación	Q	integración del valor de medición, suma
R	registro	E	función de un transductor de medición, siempre sin segunda letra
C	regulación automática	O	señal sí/no,señal encender/apagar
A	aviso de falla	S	conmutación

Los valores límite son representados por una H (o un +) para el valor límite superior y por una L (o un -) para el valor límite inferior. Si como segunda letra se muestra una D, entonces esto significa una medición diferencial de la magnitud de medición.

11.2.4.7 La descripción del proceso

La descripción del proceso se hace como complemento de los diagramas de flujo de procesos y de los diagramas de tuberías e instrumentos. Su propósito es la explicación de las relaciones técnico-tecnológicas, en particular las exigencias especiales que debe cumplir la técnica de planta y de medición, control y regulación desde el punto de vista de la limpieza y la desinfección, la seguridad de proceso, el aseguramiento de calidad (exclusión de O_2), la exclusión de mezclas no intencionales de productos, etc.

Sirve, sobre todo, para ayudar a la comunicación entre los diferentes contratistas participantes en un proyecto en lo referente a los límites entre componentes, el establecimiento de los puntos de intersección, la motivación de exigencias especiales, etc.

Junto con los diagramas de flujo, la descripción de proceso es una base de trabajo importante para el ingeniero coordinador de proyecto, a cargo de quien están los subcontratistas que trabajan en el proyecto, y es imprescindible para decidir el alcance de la técnica necesaria de planta.

Una descripción de proceso detallada se basa sobre un análisis exhaustivo de todos los pasos de proceso en cuestión, en lo que respecta a su factibilidad, teniendo en cuenta las necesarias condiciones marco tecnológicas.

La descripción de proceso muestra los límites del sistema y posibilita también la comprobación de la flexibilidad requerida de los componentes de planta o bien de la planta, en particular, la posible simultaneidad de manipulaciones tecnológicas y de procedimientos CIP.

Al mismo tiempo puede ser la base para la elaboración de las instrucciones de proceso y de trabajo.

11.2.4.8 La elaboración de la documentación de ejecución

Procedimientos gráficos

Se distingue entre el dibujo a mano alzada y el plano.

Cada vez más se elabora todo tipo de planos con ayuda de ordenadores. Existe suficiente software de CAD apropiado.

Pero los sistemas confortables (posibilitan la planificación completa hasta la lista de piezas, el pedido de los componentes, el control de proyecto y la representación virtual de la planta desde cualquier vista) aún continúan siendo relativamente caros y requieren cierta práctica por parte del usuario, de manera que sólo son utilizados por grandes oficinas de proyecto o por empresas.

Los planos pueden ser elaborados en dos o tres dimensiones. En la representación 2 D se dibujan frecuentemente la vista anterior, la vista de arriba y las vistas laterales.

De las proyecciones axonométricas, sobre todo la representación isométrica ha alcanzado una importancia muy grande para planos de tuberías y planos de montaje.

Al dibujar se debe utilizar escalas que están normalizadas (Tabla 3). Son importantes sobre todo las escalas para reducciones. La escala 1 : 25 y múltiplos de ésta no deberían ser utilizados.

Tabla 3
Escalas para reducciones (DIN ISO 5455)

1 : 2	1 : 5	1 : 10
1 : 20	1 : 50	1 : 100
1 : 200	1 : 500	1 : 1000, etc.

La construcción de modelos

La construcción de modelos es posible con modelos 2 D y 3 D. En la construcción de

11

modelos en 2 D se utilizan formas planiformes (plantillas), que corresponden por lo general a la vista de arriba, en escala, de un elemento de planta.

Con estos modelos 2 D económicos o fáciles de hacer por uno mismo (cartón, cartulina, láminas; autoadhesivas o con imanes) es posible examinar variaciones en la disposición de planta o bien del layout de planta, u optimizar el aprovechamiento de superficies o espacios con muy poco gasto (por ejemplo: en la industria de bebidas para el layout de fábricas completas de cerveza, malterías, salas de cocción, plantas de tanques cilindrocónicos, salas de máquinas y centrales de energía, plantas de envasado, equipos de llenado, salas de apilado, depósitos de envases llenos y de envases vacíos, líneas de carga, etc.).

Con este método también se puede verificar fácilmente las secuencias de montaje/desmontaje.

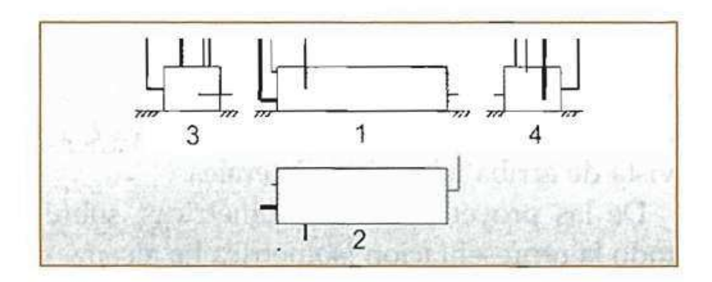


Figura 11.9
Representación de un equipo en vista de frente (1), vista de arriba (2) y vistas laterales (3,4)

Gracias a los avances en la técnica de ordenadores, en lo que respecta a hardware y software, se realizan y utilizan progresivamente modelos virtuales para arquitectura, plantas y tuberías, pero también modelos funcionales. La técnica de CAD brinda posibilidades considerablemente mayores que la construcción clásica de modelos y con costos comparativamente moderados.

También se puede realizar modelos funcionales.

Los modelos se pueden utilizar de forma ventajosa, como modelos de planta, modelos individuales, modelos de equipamiento o modelos completos para presentaciones, concursos y exposiciones, para la coordinación y capacitación de los contratistas y personal de montaje y para la capacitación de empleados.

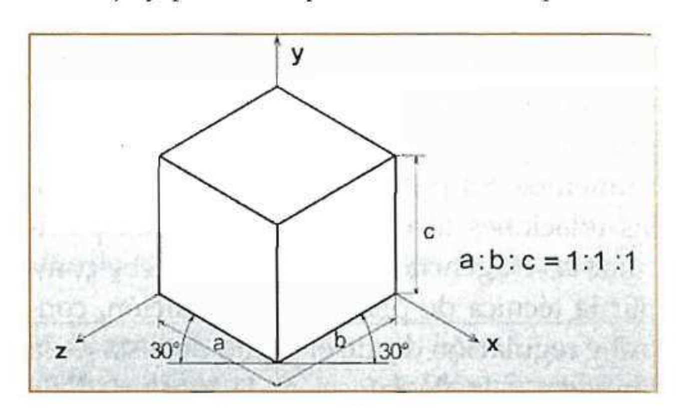


Figura 11.10
Ejemplo de una representación isométrica: un cubo

Medios auxiliares para la elaboración de documentación de planificación

Borradores y formatos de dibujo

En la oficina de proyectos moderna, las plantillas de plano son elaboradas en PC. Lo mismo vale para borradores de plano o planos, sobre los cuales se trabaja en PC.

En el pasado se utilizaban para ello papeles de copias (papeles transparentes y papeles

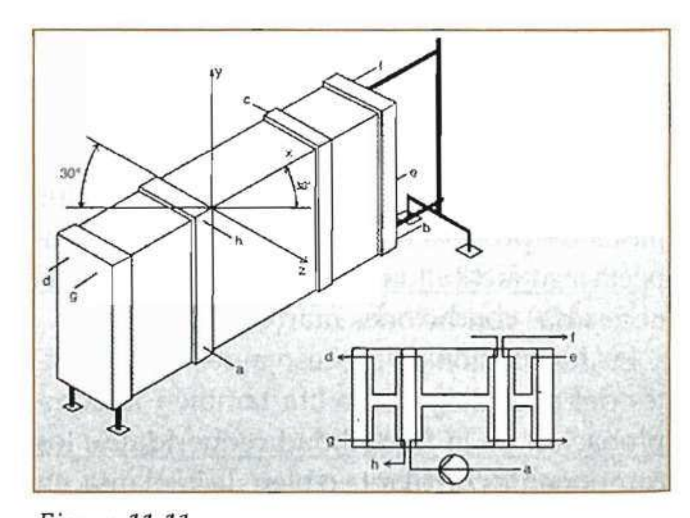


Figura 11.11
Ejemplo de una representación isométrica: intercambiador de calor de placas

para copias transparentes) con la correspondiente impresión (bordes, rótulos, encabezados de tablas, etc.). El tamaño de los formatos está normalizado.

La duplicación de las documentaciones de planificación

La documentación de planificación elaborada de forma electrónica (textos, listas, diagramas de flujo, planos, etc.) es almacenada, duplicada y pasada a otros en un soporte de datos (disquete, disco rígido, cinta magnética, CD-ROM y desarrollos ulteriores de los mismos). Para la lectura se requieren dispositivos de salida adecuados (pantalla de monitor, impresora, plotter, proyector).

Las copias impresas permanentemente disponibles pueden ser producidas sobre papel o lámina por medio de impresora o plotter, según el formato de aquellas. Estos "originales" pueden ser duplicados luego cuantas veces se desee por medio de procesos xerográficos ("copiadoras") (las copias son denominadas "fotocopias", lo cual no es del todo correcto). En caso de necesidad se pueden aumentar o reducir de forma continua.

Por medio de representaciones multicolores en CAD, producidas por ejemplo con impresoras de color, plotters de color o copiadoras de color, se puede mejorar considerablemente la visualización y el valor informativo de la documentación de planificación (diagramas de tuberías e instrumentos, planos de tuberías).

La técnica de micropelícula plana (microfiche) se continúa utilizando para archivar escritos y planos. Sin embargo, requiere equipos especiales de fotografía y de lectura o bien equipos de reampliación.

11.2.5 Indicaciones para la redacción del contrato

La adquisición de bienes económicos y de servicios se hace sobre la base de un contrato que es celebrado entre contratante y contratista luego de que el objeto de contrato haya sido fijado sobre la base de una definición de tareas, una procuración de ofertas y una evaluación que hayan sido lo más exactas posible. El objeto de contrato y las condiciones contractuales deben ser negociados y establecidos de forma detallada, dado que de ello pueden resultar consecuencias económicas considerables tanto para el contratante como para el contratista.

El objeto de contrato debe ser claramente descripto en todos sus parámetros. Esto incluye, entre otros, indicaciones respecto de: ejecución, alcance de suministro, límite de suministro, servicios acordados y la descripción de los servicios, garantías, ausencia de defectos de título, calidades, cantidades; el compromiso del proveedor de suministrar objetos o plantas, fabricados según el estado más moderno de la técnica y la ciencia; éstos deben cumplir también con las correspondientes reglamentaciones de derecho medioambiental y alimentario, regulaciones legales, reglas técnicas, normas y reglamentaciones de prevención de accidentes; accesorios, documentaciones y planos de todo tipo para la planta, tales como manual de operación, manual de mantenimiento, instrucciones de operación, indicaciones de servicio, de inspección y de mantenimiento; piezas de recambio y de desgaste a ser suministradas con el equipo, instrucciones de mantenimiento, un abastecimiento garantizado de piezas de recambio por un plazo a ser establecido (garantía de mantenimiento), disposiciones respecto del servicio de "posventa"; libros de taller, listas de piezas de recambio; capacitaciones del personal; disposiciones respecto de ejecuciones especiales, subcontratistas o subproveedores, materiales, lubricantes, superficies, coloración; hojas de datos de seguridad, etc.

Las condiciones contractuales deben estar establecidas por escrito en todos sus detalles. Éstas incluyen, entre otros:

- plazos y responsabilidades para los dere-

chos de construcción o de montaje;

- plazos para el suministro, el inicio y la finalización de la construcción o del montaje;
- plazos y responsabilidades para pruebas de funcionamiento, puesta en servicio, inicio y finalización de la prueba en condiciones de operación;
- cargo de los costos de las pruebas de funcionamiento y de la prueba en condiciones de operación;
- responsabilidades, inicio y condiciones para la prueba de rendimiento o aceptación, cargo de los costos para peritos externos;
- penalizaciones eventuales en el caso de exceder plazos o no alcanzar los parámetros acordados;
- detalles respecto de arreglos posteriores y garantías, plazos de garantías;
- garantías de mantenimiento e indicaciones respecto del servicio de posventa;
- acuerdos comerciales, tales como precios (precio fijo, precio máximo, liquidación según gastos o material confirmado, cláusulas de variación de precios, etc.);
  reducciones del precio contractual en el caso de no cumplimiento del contrato ("penalización");
- condiciones de pago (plazos de pago, vencimientos, descuentos, etc.)
  (¡Los compromisos contractuales del contratante deberían incluir también una moral de pagos positiva cuando el contrato ha sido cumplido!);
- disposiciones respecto de las seguridades del contratante en el caso de eventuales anticipos o pagos parciales en forma de avales bancarios, que no tengan costo alguno para el contratante, o mediante traspaso de seguridad de bienes económicos pedidos;
- avales de terminación de obra del contratista;
- retenciones de seguridad para eventuales reducciones de rendimiento o para el caso de no alcanzar los valores de garantía;
- cargo de los costos de embalaje, de transporte, de grúa y de descarga;
- devolución de los embalajes;
- lugar de suministros y de servicios, etc.

El objeto de contrato y las condiciones contractuales deben ser formulados y confirmados de forma exacta, teniendo en cuenta, sobre todo, eventuales derechos a indemnización. También deben ser fijadas contractualmente las cuestiones de seguros (seguro de prestación de obra, seguro de montaje, seguro de responsabilidad civil, seguro contra incendios) y la exclusión de responsabilidad por la pérdida o daño de herramientas y materiales. El objetivo debe ser siempre que los contratos sean formulados de manera tal que se logre claridad en lo que respecta al objeto de contrato y las condiciones contractuales.

11.2.6 Puesta en servicio y prueba de rendimiento

La puesta en servicio de una planta debe ser preparada a tiempo. La planta en sí debe estar en condiciones de operación y los medios necesarios para la operación deben estar a disposición. Esto incluye la disposición de servicio de la técnica de medición, control y regulación, y de otros controles eventuales.

Las pruebas de funcionamiento, la limpieza de la planta y las inspecciones relevantes para la seguridad deben haber sido finalizadas, y deben estar a la vista certificados de inspección válidos (por ejemplo: del TÜV (Organización Alemana de Verificación Técnica) o ente similar). Asimismo debe verificarse la realización o el cumplimiento de eventuales requisitos.

El personal del operador debe estar familiarizado con la planta y su operación, su limpieza y desinfección, así como con su mantenimiento. La condición para ello es en general una capacitación adecuada de los empleados por parte del proveedor de la planta y que

estén disponibles los manuales de operación y de mantenimiento. Estas condiciones deberían ser siempre objeto de contrato.

Siempre es recomendable que se registre en un protocolo la finalización del montaje y la disposición para la puesta en servicio y el inicio de la prueba de funcionamiento.

Para la preparación es útil ayudarse en esto con listas de control adecuadas y detalladas, de acuerdo con las cuales se puede controlar y confirmar las actividades individuales esenciales. Naturalmente, los parámetros verificados o alcanzados deben ser asentados en un protocolo (¿quién?, ¿cuándo?, resultado), y hay que establecer las correspondientes medidas, plazos y responsabilidades para corregir eventuales defectos.

Cuanto más meticulosamente se realizan estas verificaciones, tanto más pronto alcanzará la planta sus parámetros proyectados.

En lo posible deberían verificarse todos los pasos individuales del proceso, de la limpieza y la desinfección, y del funcionamiento del equipamiento relacionado con máquinas y aparatos.

Si las listas de control son elaboradas ya durante la fase de planificación, será posible detectar y eliminar tempranamente eventuales defectos.

El tiempo de operación de prueba que sigue a la puesta en servicio debería ser establecido contractualmente. Naturalmente dura siempre hasta alcanzar de forma estabilizada los parámetros acordados de la planta. En el caso de un eventual exceso de tiempo de operación de prueba, el resarcimiento económico debe estar fijado contractualmente.

Tan pronto como la planta ha alcanzado sus parámetros de rendimiento asegurados contractualmente o bien, si el contratante y el contratista se han puesto de acuerdo al respecto, se puede preparar y realizar el comprobante de rendimiento de la planta o la aceptación de la misma sobre la base del contrato de suministros y servicios.

El círculo de personas previsto para la prueba de rendimiento o para la aceptación de la planta, o para el servicio, se establece antes de la celebración del contrato. Puede estar formado por empleados del contratante y del contratista. Pero también puede estar formado por un ente externo, "neutral" (estudio de ingeniería, instituto universitario, expertos, etc.). También se puede comprometer a peritos externos solamente para propósitos de arbitraje si entre contratante y contratista no se puede lograr una evaluación concordante de los resultados.

Los resultados de la prueba de rendimiento o de la aceptación son asentados en un protocolo y evaluados. Los trabajos restantes resultantes o los arreglos posteriores se establecen en contenido y plazos. Los plazos para las garantías comienzan con la finalización de la prueba de rendimiento exitosa, siempre que no hayan sido acordadas otras disposiciones.

11.2.7 Finalización de proyecto

La finalización del proyecto se alcanza entre otros:

- luego de la prueba de rendimiento exitosa y asentada en protocolo;
- luego del cumplimiento de todos los trabajos acordados contractualmente, incluyendo los trabajos restantes y arreglos posteriores asentados en el protocolo, así como luego del cumplimiento de los requisitos del procedimiento de autorización y de la protección laboral;
- luego de la eliminación de todos los defectos;
- luego de la entrega de todos los bienes acordados (planta, piezas de recambio y de desgaste); se asienta en el protocolo que se realiza la entrega lista para la operación;
- luego de la entrega de todas las documentaciones de planta acordadas, en particular, los planos revisados, planes y listas, certificados de materiales, certificados de ensayo,

en especial en lo que respecta a la técnica de seguridad, los diferentes manuales e instrucciones;

- luego de la capacitación e instrucción exitosa de los empleados, también en lo que respecta a la protección contra accidentes. Es conveniente hacer confirmar la instrucción de los empleados por medio de firma;
- luego de la liquidación de todos los trabajos.

Luego de la finalización del proyecto, se le puede confirmar al contratista la aceptación exitosa de la planta y el traspaso de ésta al contratante o usuario (protocolo de aceptación). Con esto, la planta o el objeto de contrato es considerado como aceptado.

Seguramente todo contratista instará al contratante a realizar lo más pronto posible una aceptación de la planta. Pero el contratante hará bien en aprobar una finalización de proyecto recién cuando realmente todos los trabajos acordados por contrato hayan sido realizados libres de defectos y de forma comprobable; es decir, luego de la comprobación documentada de la "aceptación sin objeciones".

11.2.8 Documentación de proyecto

Los documentos de proyecto de todo tipo, que han sido elaborados en la preparación y ejecución de un proyecto, son documentos importantes de una empresa.

En particular es generalmente única la documentación de ejecución, como los diagramas de flujo de procesos, diagramas de P&I, los planos de construcción y de montaje, los manuales de operación, los manuales de mantenimiento, las instrucciones de servicio y de mantenimiento, las listas de piezas de recambio, los certificados de materiales, los certificados de soldadura, los certificados de taller, los protocolos de ensayo y de aceptación de recipientes a presión, de válvulas de seguridad, etc., los planos de fundación, los planos de armadura, los comprobantes de cálculo estático y de resistencia, y los permisos de construcción y de operación.

También habría que archivar, al menos por intervalos prolongados, las ofertas y la documentación relacionada con la negociación de las ofertas y los pedidos adjudicados, composiciones de costos correspondientes al proyecto total y a los componentes, etc.

Al finalizar el proyecto es especialmente importante actualizar y revisar la documentación de proyecto. Esto vale en especial para los planos de ejecución de construcción y de montaje, planos de tuberías, instalaciones eléctricas y de técnica de medición, control y regulación, diagramas de circuitos, de cableado y de bornes, el software actual de los controles o reguladores existentes, planos de conductos y de trazados.

Asimismo se debería archivar valores de medición de la prueba de rendimiento.

Es por ello que las documentaciones de proyecto deberían ser archivadas de forma clara y ordenada.

La sala de archivo debería cumplir con las exigencias técnicas de seguridad (por ejemplo, en lo que respecta a la protección contra incendios, protección contra robos, protección contra daños por inundación).

¡No debe permitirse una toma indocumentada de textos o planos! En la planta habría que utilizar en lo posible únicamente copias de los documentos originales. La actualización permanente y sin compromisos de la documentación de operación (descripciones de proceso, recetas, instrucciones de trabajo, instrucciones de servicio) es una tarea importante de la gerencia de la empresa que debe desarrollarse según reglas transparentes.

11.3 Diseño de plantas y requerimientos en lo que respecta a las plantas

11.3.1 Informaciones generales

La planificación, el diseño y la construcción de plantas deben realizarse siempre teniendo

en cuenta las bases legales, las normas y las reglas reconocidas de la técnica que se encuentren vigentes. Una fuente de información importante para ello es el "Catálogo DIN para Reglas Técnicas " (DIN = Deutsches Institut für Normung e.V., Instituto Alemán para Normalización). Las "Reglas reconocidas de la Técnica" representan el conocimiento especializado, generalmente válido, aplicado y probado.

A continuación se dan algunas indicaciones para el diseño funcional de elementos de planta y de plantas y se mencionan requerimientos en lo que respecta a plantas, en particular para la industria de fermentación y de bebidas.

El objetivo de estas indicaciones es llamar también la atención respecto de puntos importantes que en parte son olvidados o tenidos poco en cuenta.

Los puntos importantes se encuentran en las áreas:

- del diseño funcional de la planta,
- del modo de trabajo libre de contaminaciones,
- del modo de trabajo libre de oxígeno,
- de la seguridad de procesos, de planta y de operación.

11.3.2 Condiciones previas para la automatización de plantas modernas

Para automatizar plantas en la industria de fermentación y de bebidas debe cumplirse con las siguientes condiciones previas:

- para la realización del proceso proyectado debe existir un algoritmo según el cual se pueda elaborar un plan de proceso;
- todos los componentes de la planta deben poder ser operables por control remoto;
- los componentes de la planta deben estar conectados por tuberías y válvulas fijas;
- las plantas deben ser apropiadas para limpieza y desinfección CIP;
- las plantas deben disponer de sensores, con los cuales se puedan realizar controles con tiempo programado para la operación de proceso, o bien que posibiliten la regulación de las magnitudes de proceso y permitan que el proceso se desarrolle óptimamente;
- los materiales de la planta deben ser resistentes a la corrosión.

Las condiciones antes mencionadas pueden ser cumplidas con los elementos disponibles actualmente (el desarrollo de los elementos de equipamiento necesarios para ello ha comenzado aproximadamente a partir de 1965/1970).

Debido a los costos resultantes para la técnica de planta, las plantas modernas tampoco son previstas totalmente para un modo de trabajo automático. En particular se operan de forma semiautomática o manual las partes de la planta que requieren ser operadas en intervalos relativamente grandes (por ejemplo: el llenado o el vaciado de un tanque cilindrocónico).

11.3.3 Requerimientos en lo que respecta al diseño de tuberías y plantas para un trabajo libre de contaminaciones

El trabajo libre de contaminaciones de una planta y la creación de las condiciones previas para ello, relacionadas con máquinas y aparatos, son objetivos importantes que ya deben ser tenidos en cuenta durante la planificación de la planta y deben ser seguidos consecuentemente en la selección y la adquisición, y en el procesamiento de los componentes.

Son aspectos importantes en el diseño de tuberías, válvulas y componentes de planta previstos para el trabajo libre de contaminaciones:

- la selección de materiales: acero inoxidable con adecuada resistencia a la corrosión para la aplicación prevista;
- juntas: materiales de junta apropiados, jun-

tas estáticas con tensión inicial definida y superficie mínima en contacto con el producto, juntas dinámicas con separación clara producto/entrono;

- la superficie de material: rugosidad media aritmética Ra ≤ 1,6 mm (según DIN 4762) para superficies en contacto con productos;
- el procesamiento de los materiales: procedimiento calificado de soldadura bajo atmósfera protectora, con conformación continua y pasivación de la superficie de material luego del procedimiento de soldadura;
- ausencia de fisuras y espacios muertos, y de roscas que tengan contacto con medios;
- humectabilidad completa por parte de medios para CIP;
- posibilidad de acceso a todas las superficies para la limpieza y la desinfección, ausencia de esquinas y ángulos, y de perfiles huecos abiertos;
- separación consecuente de cojinete y sello en árboles;
- posibilidad de vaciado completo; no deben quedar residuos de producto o de medios para CIP;
- prevención del contacto de superficies contaminadas con el producto;
- las cubiertas de todo tipo, los pasajes y los revestimientos de máquinas deben ser de forma adecuada para CIP y ser estancos a chorros de agua y a agua de rociado;
- evitación de la absorción de aire ambiente no estéril durante los procedimientos de CIP o durante el vaciado de recipientes. Es conveniente asegurar permanentemente una leve sobrepresión en la planta.

El éxito se asegura únicamente controlando permanentemente el cumplimiento de los criterios y condiciones recién mencionados durante las fases de planificación y de montaje y durante la selección de proveedores o la adquisición.

11.3.4 Requerimientos en lo que respecta a la seguridad de operación de las plantas

11.3.4.1 Separación de medios

Por principio debe imposibilitarse un mezclado no intencional de medios. Es por ello que la conexión entre tuberías "enemigas" sólo puede ser hecha de forma segura por medio de:

- codos pivotables manualmente u otros elementos de conexión.
  Éstos sólo son conectados en caso de necesidad y deberían estar presentes sólo una vez. Se debería tratar de prevenir confusiones. La conexión debería ser controlada por sensores; (Figura 11.12)
- una combinación de válvulas de purga compuesta por 3 válvulas, cuya posición es controlada por sensores (instalación tipo "bloqueo y purga"); (Figura 11.13)
- válvulas de doble asiento, de forma constructiva apropiada, con modo de operación o instalación a prueba de golpes de ariete.

El codo pivotable es la solución más sencilla y la de menor costo. Sin embargo, no es apropiada para plantas automatizadas. Sería conveniente que el controlador supervise a través de un sensor que el codo pivotante se encuentre en la posición deseada. También se

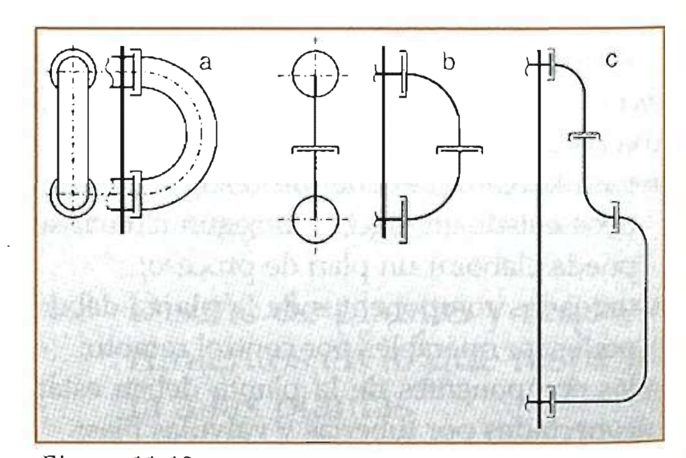


Figura 11.12
Ejemplos para la configuración de conexiones de codos pivotables

puede registrar la posición de las válvulas intervinientes.

El codo pivotante rígido sólo puede ser fabricado como codo de 180°, dado que no permite casi ninguna compensación de longitud debida a temperatura. Las exigencias en lo que respecta al paralelismo de las uniones roscadas a conectar son elevadas y requieren un montaje esmerado. La compensación de errores de paralelismo hace necesaria al menos una conexión roscada adicional en el codo de 180°.

El "codo pivotable" con compensación de longitud debe tener una articulación adicional. Permite ser utilizado de forma bastante universal para la conexión de extremos paralelos de tubería que se encuentran en un plano.

Un elemento de conexión que sea utilizable en un espacio debe tener 4 "articulaciones"(uniones roscadas) como mínimo. Por ejemplo: se lo puede armar sin mucho esfuerzo a partir de 5 codos roscados de 90°. Dado el caso, se deberá efectuar prolongaciones rectas.

La combinación de válvulas de purga es la solución más económica en plantas automatizadas, para la separación de medios diferentes, impidiendo que se mezclen. La válvula de purga puede tener un diámetro nominal relativamente pequeño. Es importante activar esta combinación en todos los procesos de CIP. La válvula de purga puede estar dispuesta de forma tal que se vacíe el espacio entre ambas válvulas de bloqueo. En el caso de plantas, en las cuales es importante un trabajo libre de O_2, se debe prevenir un vaciado automático; por ejemplo, colocando el tubo de purga en forma vertical o lateralmente con cuello de cisne.

En principio, el mando de las tres válvulas puede ser realizado de forma conjunta por cuestiones de costos. Sin embargo debería darse preferencia al mando individual (ventajas en el caso de falla).

El mayor espacio de instalación y el volumen de líquido que queda en el espacio entre ambas válvulas de bloqueo, en el caso del modo de trabajo libre de oxígeno, son desventajas considerables de la combinación de

11

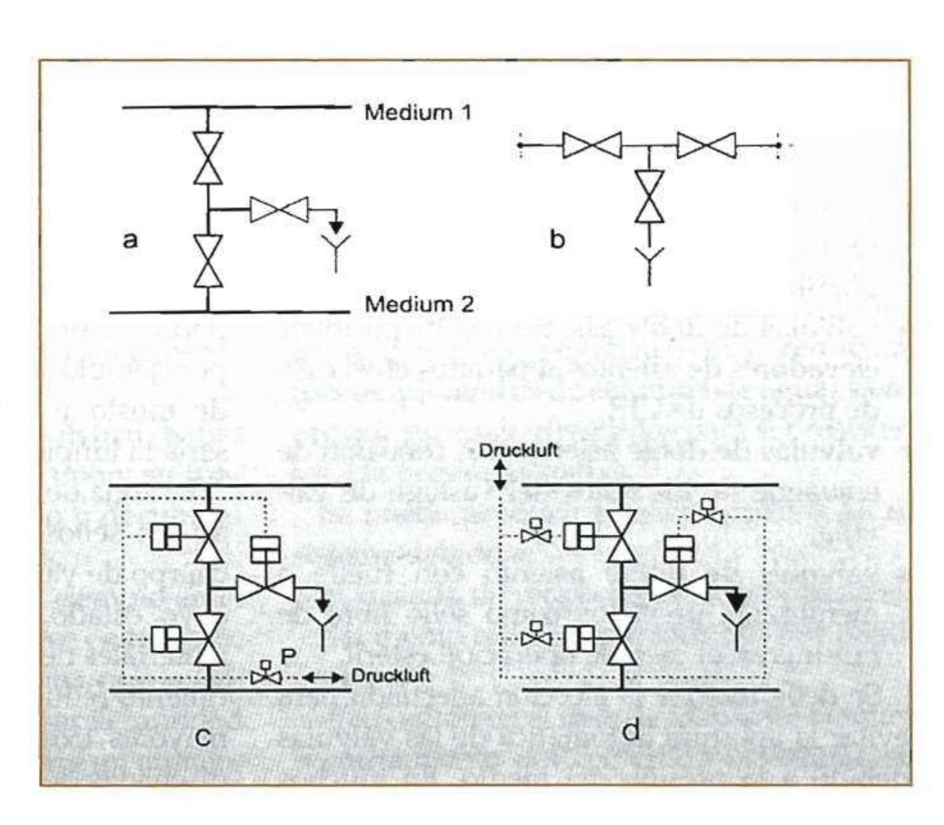


Figura 11.13
Ejemplos para la conexión de tuberías mediante una combinación de válvulas de purga (conexión tipo "bloqueo y purga")
(a) combinación de válvulas de purga, en forma de esquema,
(b) vaciado automático del espacio de purga,
(c) mando conjunto de la combinación de válvulas,
(d) mando separado de la combinación de válvulas,
(P) válvula piloto (válvula de dos vías)

válvulas de purga en comparación con la válvula de doble asiento. Estas desventajas se presentan sobre todo en la conexión de una matriz de tubos en un espacio muy estrecho ("nudo de válvulas"). Para esta aplicación, las válvulas de doble asiento tienen ventajas obvias.

Un caso especial es el uso de la válvula esférica. Se la puede utilizar como válvula de bloqueo en las tuberías de alimentación y de descarga para CIP si la carcasa dispone de una conexión para lavado y drenaje. También con diámetros nominales grandes, las válvulas esféricas son más económicas que las válvulas de doble asiento. En parte también son más económicas que combinaciones de válvulas de purga. La válvula esférica es resistente a los golpes de ariete.

La válvula de doble asiento es seguramente la más conveniente para la conexión de dos tuberías sin que haya riesgo de mezclado en el estado de conexión cortada. En principio, los costos relativamente altos en la adquisición y la reparación de las válvulas de doble asiento son su única desventaja (ver al respecto Sección 4.4.2.1.1).

Pero la utilización exitosa de una válvula de doble asiento presupone el empleo de la forma constructiva apropiada para la aplicación dada:

- válvulas de doble asiento de construcción resistente a los golpes de ariete o bien con platillo de válvula aliviados de presión,
- válvulas de doble asiento con dispositivos elevadores de asientos separados en el caso de procesos de CIP,
- válvulas de doble asiento con conexión de enjuague de los sellos del vástago de válvula,
- válvulas de doble asiento con fuelle o membrana, previstos como sello libre de ranuras en el caso de operación estéril.

Se debe realizar la elección adecuada para evitar la apertura automática de las válvulas debido a la presión del medio. En muchos casos es suficiente instalar las válvulas de manera tal que el medio con la presión más elevada posible cierre la válvula (en particular en el caso de avería) o que la presión del líquido actúe en el sentido de la fuerza de cierre, o bien en el sentido de cierre.

Las válvulas de doble asiento se fabrican con un trayecto de flujo resistente a golpes de ariete (un platillo de válvula está balanceado por presión o hay una colocación del platillo de válvula sobre el asiento en unión por forma), o con ambos trayectos de flujo resistentes a golpes de ariete (ambos platillos de válvula están balanceados por presión). Las válvulas resistentes a los golpes de ariete no pueden ser abiertas por la presión del medio.

El espacio entre ambos platillos de la válvula de doble asiento puede ser lavado separadamente. A través del mismo ocurre la descarga sin presión de pérdidas eventuales.

Los líquidos resultantes en las limpiezas CIP de los asientos de válvula y las purgas debidas a conmutación son descargados a través de tuberías especiales (con cono o embudo de entrada) o por medio de piletas colectoras (chapas planas con bordes y función acumuladora).

Es muy recomendable la elevación separada de asientos de válvula, por medio de un accionamiento elevador (la carrera debería ser ajustable para limitar la cantidad de salida), para circuitos de tuberías con mayores requerimientos en lo que respecta al trabajo pobre o libre de contaminaciones. Esto vale, por ejemplo, en las zonas de líquido filtrado o de mosto y levadura. La única alternativa sería la limpieza CIP a temperaturas ≥ 85°C.

La zona de las superficies de deslizamiento de los sellos del vástago de válvula o del cuerpo de válvula es una zona problemática, cuyo estado depende del desgaste de los materiales de sello. También aquí la limpieza caliente reduce los problemas. En el caso de mayores exigencias, estas zonas deben ser diseñadas de manera tal que sean lavables, o

deben ser selladas por medio de un fuelle o una membrana. También pueden ser equipadas con un cierre de agente desinfectante o de vapor.

11.3.4.2 Protección de la planta contra presiones no permitidas

Todos los componentes de la planta deben ser operados de manera tal que no se supere o se pueda superar la presión permitida de operación.

Para ello es necesario equipar la planta con dispositivos de seguridad automáticos, los cuales previenen de forma confiable que se produzcan condiciones de operación no permitidas. Debe tenerse en cuenta en esto que los dispositivos de seguridad deben estar activos también en el caso de deficiencia de las energías auxiliares (energía eléctrica, aire comprimido, aire de control, hidráulica) o del control.

Protección de las plantas contra sobrepresión no permitida

La protección de la planta contra sobrepresión (en general se trata de plantas sujetas a supervisión) debe ser efectuada según las reglamentaciones de los manuales de reglas pertinentes. Las plantas deben estar equipadas para este propósito con válvulas de seguridad o de rebose automáticas. Éstas son accionadas por fuerza de resorte o por fuerza de masa.

Es importante que las secciones de estas válvulas de seguridad sean suficientemente grandes.

Las válvulas de seguridad deben haber sido sometidas a un ensayo de tipo y su funcionamiento debe ser verificado y documentado en intervalos especificados.

Se debe tener en cuenta, por ejemplo en el caso de falla del seguro de rebose en tanques, que son llenados mediante bomba, que la válvula de seguridad debe descargar la cantidad de líquido entrante sin que ocurra un aumento de presión no permitido. El dimensionamiento de la válvula de seguridad debe realizarse por lo tanto para el mayor caudal de líquido posible.

Las tuberías de alivio o de rebose/de descarga deben ser suficientemente grandes. Deben ser tendidas de manera tal que no puedan producirse situaciones de peligro en caso de activación. Las tuberías de producto deben ser aptas para CIP. Es por ello que las válvulas de seguridad son construidas para ser accionadas por elevación y se las opera por mando en los procesos de CIP.

Un aporte para la mejora de la seguridad de operación de plantas es equipar las válvulas con accionamientos que cierren estas últimas automáticamente por acción de resorte en el caso de una deficiencia de la energía auxiliar o del mando. También es posible usar dispositivos de seguridad no reutilizables (por ejemplo: discos de reventamiento).

Protección de la planta contra presión negativa no permitida

La protección de la planta contra presión negativa no permitida es tarea del operador. Dado que la presión negativa por lo general no es causante de daños o riesgos para la salud de los empleados, las plantas no requieren ser supervisadas en lo que respecta a esto.

En particular, los tanques grandes (tanques de acumulación, tanques cilindrocónicos) son sensibles a la presión negativa. En general también los tanques a presión ya corren riesgo a presiones negativas muy reducidas (pocos milímetros de columna de agua) siempre que no estén diseñados para ser resistentes a la presión negativa.

Se puede producir presión negativa en un sistema debido a:

- el vaciado de recipientes sin compensación del medio saliente, por ejemplo por medio de gas,
- efecto sifón en el caso de rebose de tanques,
- enfriamiento del contenido de tanque sin

compensación del cambio de volumen,

- reacción química del contenido del tanque.

Los tanques sin presión deben ser conectados a la atmósfera con suficiente sección transversal. Los reboses en los tanques deben tener un orificio de alivio en el punto más alto, o un tubo vertical que esté abierto hacia arriba, a los efectos de prevenir un efecto sifón (carga sobre el tanque por vacío).

El caudal de gas necesario que fluye a los tanques tibios o calientes durante el enfriamiento de éstos depende de la velocidad de enfriamiento de los tanques (caudal del medio de enfriamiento, masa del tanque, tamaño del tanque, capacidad de calor específico, diferencias de temperatura) y puede ser controlado con estos parámetros. Las válvulas de vacío deben ser dimensionadas para el mayor caudal posible que sea necesario y teniendo en cuenta las presiones diferenciales utilizables.

Es ventajoso realizar la limpieza CIP en caliente de tanques cilindrocónicos con leve sobrepresión en el tanque frío y evitando el escape de gas durante la limpieza. La presión interior del tanque debería ser supervisada por el control.

Si se prescinde del enfriamiento de tanques limpiados en caliente (lavado con agua caliente; establecimiento automático de contrapresión con gas estéril durante el enfriamiento lento, por ejemplo, durante el llenado del tanque), se obtienen instalaciones relativamente sencillas.

11.3.5. Informaciones para el diseño de tuberías

11.3.5.1 Informaciones generales

Los diámetros nominales de las tuberías están normalizados. Para tuberías de producto se utilizan casi sin excepción los diámetros nominales DN 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125 y 150 (indica el diámetro nominal en milímetros).

La presión nominal (abreviación PN) de la tuberías de producto hechas de aceros inoxidables está limitada a PN 16 por la presión nominal de los accesorios de acero inoxidable usados. Una parte de los accesorios está permitida solamente para PN 6 o PN 10 (por ejemplo: mirillas).

Se utilizan principalmente los materiales usados universalmente, correspondientes a los números de material 1.4404 y 1.4571 (estas calidades corresponden en los países de habla inglesa a las calidades AISI 316 L ó 316 Ti) – mayores detalles al respecto, ver Sección 6.1.2.

Para aplicaciones menos exigentes en lo referente a la corrosión, se puede utilizar los materiales 1.4301, 1.4550 y 1.4541 (corresponden a la calidad AISI 304). A temperaturas mayores ($\delta \geq 30$ °C), valores pH < 8 y en presencia de halógenos, sobre todo de iones cloruro ≥ 50 mg/l, estos materiales ya no pueden ser utilizados, dado que es probable que se produzca corrosión.

Las tuberías deberían ser marcadas de acuerdo con los medios que las atraviesan; lo mismo se aconseja para las válvulas y los sensores en concordancia con el diagrama de P&I.

11.3.5.2 Conexiones de tuberías

Conexiones de tuberías no separables

Las tuberías de producto hechas de aceros inoxidables deberían estar conectadas rígidamente siempre que sea posible. Los procedimientos de soldadura de montaje apropiados son el procedimiento de soldadura WIG manual y el procedimiento automatizado para soldadura orbital. El gas de protección es argón. Las tuberías deben ser barridas meticulosamente con gas de protección (se insufla gas). Para ello se emplean argón o mezclas de gases (mezcla de gases 90/10 con 90% de nitrógeno y 10% de hidrógeno).

Luego de realizada la soldadura, se debe pasivar los lugares de soldadura (por cepilla-

do y/o decapado). Para el decapado se utilizan soluciones de decapado o pastas de decapado, las cuales contienen como componentes esenciales HF, HNO_3 y HCl, generalmente mezclados.

Los lados interiores de las costuras de tuberías generalmente no son accesibles. Es por ello que se debe insuflar meticulosamente gas en los tubos antes de realizar la soldadura. ¡Los colores de revenido tampoco pueden ser removidos con HNO_3 de alto porcentaje o sólo pueden ser removidos limitadamente!

El esmerilado de costuras de soldadura WIG realizadas bajo atmósfera protectora causa generalmente desventajas en lo que respecta a la superficie y por ello no debería realizarse, a no ser que se pueda garantizar valores de rugosidad media aritmética Ra ≤ 1,6 mm. En general, la superficie de la costura de soldadura es lisa dado que la masa fundida se solidifica sin rugosidades, debido a la tensión superficial. Los cordones de soldadura hechos conforme a las reglas del arte no molestan. El esmerilado y el pulido electrolítico mejoran la resistencia a la corrosión y no sólo el aspecto.

Conexiones de tuberías separables

Las conexiones de tuberías separables y las conexiones entre tuberías y aparatos o máquinas pueden realizarse con las siguientes variantes de conexión:

- conexión roscada,
- conexión bridada,
- conexión clamp,
- conexión con anillo de apriete.

La conexión roscada se compone de manguito cónico, manguito roscado, junta y tuerca de unión. La unión de ambos manguitos con el tubo se realiza por procedimientos de soldadura apropiados (ver más arriba).

Se debería dar preferencia sólo a aquellas conexiones roscadas en las cuales la junta es pretensada en forma definida y los manguitos cónico y roscado son unidos por forma y centrados (conexión roscada de diseño estéril según DIN 11864-1, ver también Figura 11.14).

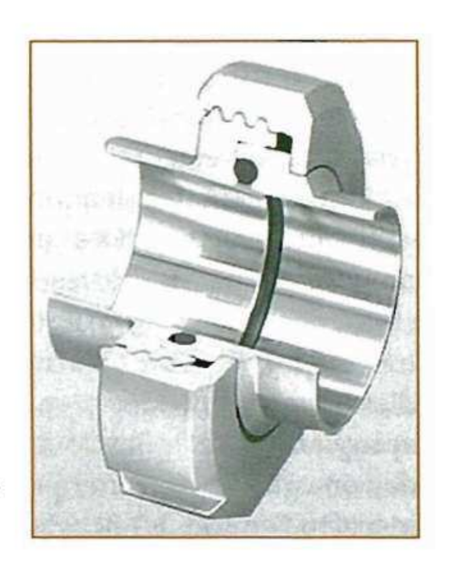


Figura 11.14 Conexión roscada de diseño estéril

Las conexiones roscadas se fabrican en los diámetros nominales DN 10 hasta 100 (150).

La desventaja en las conexiones roscadas es que para su desmontaje se debe correr los extremos levemente en dirección axial. Si esto no es posible, entonces se originan problemas. No se debería usar conexiones roscadas para tuberías que se encuentran bajo tensiones mecánicas y para aquellas que están sometidas a frecuentes cambios de temperatura. Lo mismo vale para válvulas roscadas.

Las conexiones roscadas sólo pueden ser utilizadas sin desventajas cuando los accesorios de la conexión roscada son soldados de manera tal que se encuentren absolutamente paralelos entre sí. La junta no puede compensar eventuales desviaciones debidas a imprecisiones de montaje. En diseños antiguos de conexiones roscadas era posible una leve compensación, que era contraria a las reglas, por "aplastamiento" de la junta.

El apriete de la tuerca de unión (tuerca con ranuras) se efectúa por medio de una llave para tuercas ranuradas. Para ello no debe ser necesario hacer un esfuerzo especial. Sin embargo, si este es el caso, ello indica clara-

mente que hubo errores en el montaje. Las consecuencias de un mayor efecto de palanca por parte de la llave para tuercas ranuradas son un mayor desgaste de junta y el peligro de "agarrotamiento" de la rosca. Por lo demás, la rosca siempre debería estar engrasada levemente con una grasa de silicona de grado alimenticio.

Como materiales de junta se debería utilizar únicamente EPDM (etileno propileno dieno monómero, coloreado negro) o silicona (coloreado rojo, parcialmente también traslúcido). El NBR (caucho de nitrilo butadieno) coloreado azul, en principio, no es apropiado para aplicaciones que son limpiadas en caliente según el proceso CIP (ver al respecto Sección 6.1.3).

En la construcción calificada de tuberías se da preferencia en lo posible a la conexión bridada. Las conexiones bridadas para la industria de fermentación y de bebidas son producidas predominantemente como bridas llamadas de construcción liviana para la presión nominal PN 16 (raramente PN 10). La longitud de brida se debería elegir de manera tal que se pueda utilizar procedimientos de soldadura orbital. Sin embargo, es necesario apartarse de esta regla si es importante garantizar que haya tan pocos espacios muertos como sea posible, por ejemplo, en el caso de derivaciones de tuberías.

Los diámetros nominales para las bridas de construcción liviana se encuentran en el rango DN 10...150.

Las juntas se fabrican, teniendo en cuenta la norma VDMA 11851, generalmente como juntas toroidales (O' Ring), pero en parte también como junta perfilada. Una de las bridas es entonces la llamada "brida lisa", la otras llevan la junta. Es decir, que se usan pares de bridas. La junta debería tener una superficie mínima de contacto con el producto y ser libre de espacios muertos. Es pretensada en forma definida. Las bridas son unidas por forma mediante tornillos y tuercas, y sin

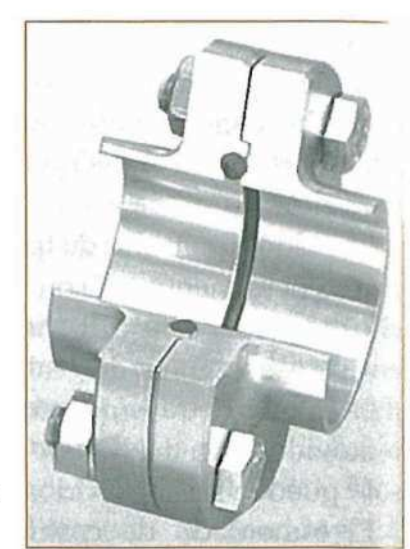


Figura 11.15
Brida de construcción liviana

espacio intermedio. Pueden estar centradas, pero los tornillos también pueden centrar las bridas.

Las dimensiones de las bridas no están normalizadas; los diseños de los distintos fabricantes no son intercambiables.

Las conexiones bridadas asépticas están normalizadas según la norma DIN 11864-2 (DN 10...150). Se las produce con O' Ring y con junta perfilada.

Las válvulas, en particular las válvulas mariposa, se utilizan frecuentemente en su versión de montaje entre bridas. Las válvulas son sujetadas entre dos bridas lisas. El sellado se realiza por lo general con las juntas correspondientes a la válvula.

Las ventajas esenciales de la conexión bridada, en comparación con la conexión roscada, están dadas en la mejor funcionalidad de la conexión bridada, en el montaje/desmontaje más sencillo y en el precio más económico. Con la conexión bridada es más fácil compensar pequeños errores de montaje que con la conexión roscada.

En todos los casos de conexiones bridadas, en particular en el caso de juntas planas, que están montadas sin unión por forma, se debe asegurar la protección contra salpicaduras de la conexión bridada, por ejemplo, mediante cubiertas o retenes adecuados. Esto vale para

todos los medios peligrosos transportables (por ejemplo: en tuberías para CIP, tuberías para productos químicos), que deben ser transportados con presiones más elevadas.

La conexión clamp (según la norma ISO 2852) es empleada en parte internacionalmente; en Alemania se la usa menos. En principio es una conexión con anillo de apriete, con junta perfilada (Figura 11.16).

Sus ventajas radican en el montaje sencillo y la razonabilidad de su precio; no tiene ventajas en lo que respecta a la aptitud para la limpieza.



Figura 11.16
Conexión clamp
(a) construcción de chapa, (b) construcción como pieza de fundición

La conexión con anillo de apriete (como variante de conexión) se utiliza sobre todo para unir componentes de válvulas (por ejemplo: para el montaje de partes de carcasa de válvulas de doble asiento) y sensores con el equipamiento, por ejemplo, con una tubería. Un ejemplo de esto es el sistema VARIVENT® de la empresa Tuchenhagen.

11.3.5.3 Tendido de tuberías y construcción de dispositivos de sujeción de tuberías

En la planificación y el tendido de tuberías se debe tener en cuenta como punto importante la variación de longitud debida a variaciones de temperatura. El tendido debe ser realizado de manera tal que las variaciones de longitud no ocasionen tensiones mecánicas. Esto rige tanto para las tuberías mismas como también para las conexiones entre las tuberías y los puntos fijos de conexión de los elementos de planta.

Las tuberías son tendidas usualmente con una pendiente de 1 a 2%. En muchas aplicaciones esto no es posible. En esos casos, las tuberías son alineadas en forma horizontal. En el tendido debe prestarse atención a que la tubería pueda ser vaciada completamente en caso de necesidad. Eventuales cambios de sección transversal deben ser realizados con reducciones excéntricas.

Las distancias para dispositivos de sujeción o soportes de tuberías deben ser elegidas de manera tal que las tuberías no "pandeen".

Además, si es necesario que las tuberías sean tendidas en forma ascendente, se debe tratar de que el tendido sea continuamente ascendente a los efectos de facilitar la purga de aire. Dado que esta exigencia en parte no es realizable, deben ser previstas medidas especiales para la purga de aire. Las tuberías deberían ramificarse de forma horizontal. Con esta forma de construcción no quedan residuos de producto o burbujas de gas en la tubería. Ver al respecto Sección 6.5.

Los dispositivos de sujeción de tuberías son diseñados como soportes fijos o como soportes deslizantes. La ubicación del soporte fijo debe ser elegida de manera tal que las variaciones de longitud debidas a cambios térmicos sean distribuidas simétricamente. La tubería ubicada entre dos soporte fijos debe poder alargarse libremente.

La abrazadera de tubo de 1 ó 2 piezas y en

especial el estribo de sujeción de tubo son apropiados como soportes fijos y deslizantes. En la aplicación como soporte deslizante, la tubería debe poder moverse sin que se produzcan ladeos o bloqueos como consecuencia de fuerzas de rozamiento y autoinmovilización. El dispositivo de sujeción debe estar fijamente atornillado y tener un pequeño huelgo con la tubería. Se debe tratar de utilizar dispositivos de sujeción de tubería prefabricados, que permitan un ajuste de los tubos aun después del montaje. En la mayoría de los casos, los dispositivos de sujeción de tuberías se fabrican in situ o se adaptan elementos prefabricados. Los dispositivos de sujeción deberían ser ajustables y facilitar el trabajo de montaje. El material para los dispositivos de sujeción debería ser, en lo posible, idéntico al de la tubería a fin de prevenir la corrosión. Es por ello que sólo pueden considerarse perfiles de acero inoxidable.

11

Los pasajes a través de paredes y cielorrasos deben ser construidos con especial atención. Sobre todo en el caso de los pasajes a través de cielos rasos, se debe prever en obra tubos protectores estancos de diámetro nominal adecuado (tener en cuenta eventuales aislaciones térmicas). Los tubos pasados son sellados luego flexiblemente contra salpicaduras de agua por medio de campanas de tubo soldadas. En el área seca alcanzan en parte pozos de tuberías o canteados sencillos, que también se pueden cubrir.

Variaciones de longitud debidas a variaciones de temperatura

Todos los materiales se modifican en su longitud al cambiar la temperatura. Si se inhibiera esta dilatación, se producirían consecuentemente considerables tensiones o bien momentos de flexión o de torsión.

Es por ello muy importante garantizar la libre dilatación de una tubería. Las posibilidades para ello son:

- el soporte deslizante y el libre desplazamiento de la tubería (ver más arriba) (esto incluye también el soporte colgante/la suspensión de tubos),
- la utilización de juntas de expansión,
- el acodamiento múltiple de la tubería e instalación de ramas de tubo suficientemente largas, que compensen la variaciones de longitud por flexión.

La última variante mencionada sólo es utilizable en el caso de disponer de suficiente superficie de montaje o de libertad en el proyecto de tuberías. La longitud de las ramas de tubo debe ser de algunos metros a los efectos de mantener acotadas las tensiones de flexión y de torsión. La configuración de la compensación de dilatación por tendido de los tubos formando una U sólo es posible en pocos

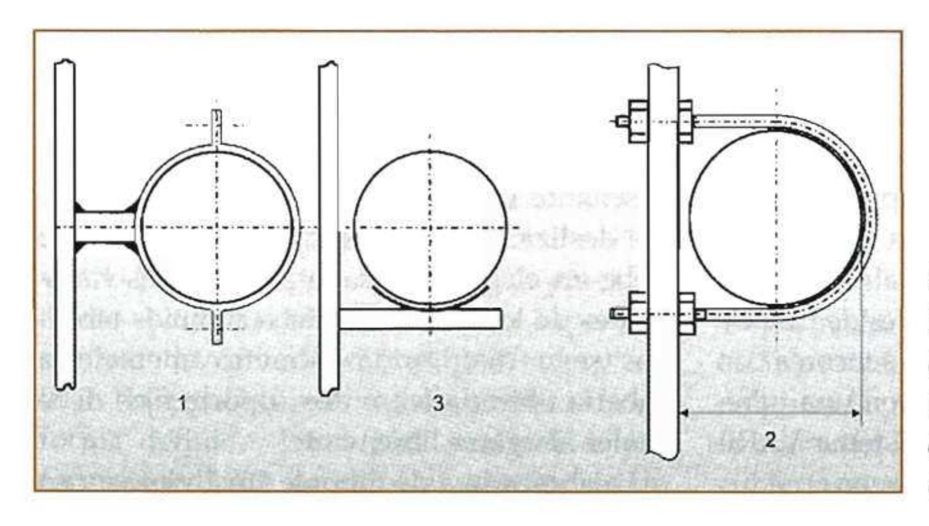


Figura 11.17
Ejemplos de dispositivos de sujeción de tuberías
(1) abrazadera de 2 piezas, (2) estribo de sujeción, (3) media caña

casos. Esta variante es utilizada, por ejemplo, en las tuberías de calor a distancia. Esta forma de compensación de dilatación también puede ser empleada debajo de tanques cilindrocónicos o tanques de presión.

La utilización de juntas de expansión se realiza en numerosas tuberías de medios. Sobre todo se usan las formas constructivas:

- junta de expansión con fuelle de elastómero (materiales: caucho, PTFE, PE),
- junta de expansión con fuelle metálico,
- juntas de expansión tubulares coaxiales; sello mediante prensaestopas o anillos de empaquetadura,
- juntas de expansión de diseño sanitario.

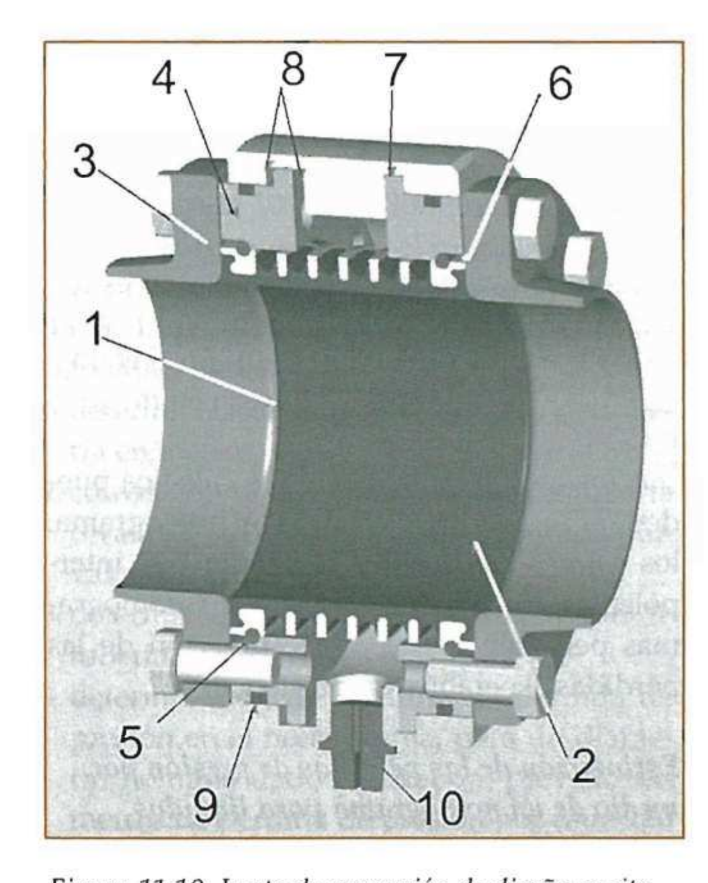


Figura 11.18: Junta de expansión de diseño sanitario para tuberías (GEA-Tuchenhagen)

(1) sello sin ranuras; (2) pasaje enrasado, liso (3) brida VARIVENT®; (4) brida para la fijación del elemento compensador; (5) anillo de alambre redondo;(6) tope metálico; (7) fijación del elemento compensador; (8) tope para la limitación de movimiento; (9) anillo; (10) indicador de pérdidas

La compensación de dilatación entre tuberías y puntos fijos de conexión es asegurada sobre todo y preferentemente con codos pivotables articulados; en el caso de diámetros menores se utilizan también mangueras. Éstas pueden ser empleadas en combinación con codos de 90° para evitar radios pequeños de manguera o para evitar el acodado de las mangueras.

11.3.5.4 La velocidad de flujo en tuberías; pérdidas de presión

La velocidad de flujo en tuberías debería ser establecida teniendo en cuenta las pérdidas de presión y los costos de inversión. Otro aspecto relevante es la aptitud de la tubería para procesos CIP.

Frecuentemente se llama la atención sobre la importancia de los esfuerzos de corte y se recomiendan velocidades de flujo para el mosto y la cerveza que sean lo más bajas posible. Lo dicho sobre la formación de gel de β-glucano y otras influencias de calidad debería ser tomado muy en serio, pero no sobreestimado, mientras sean aceptables por ejemplo bombas centrífugas como máquinas de transporte y válvulas de doble asiento o separadoras centrífugas para la clarificación de la cerveza.

En el caso de tuberías de mayor longitud, por ejemplo en tuberías para mosto, los costos de operación son influenciados sobre todo por la pérdida resultante de presión. Es por ello que se le pone límites a la velocidad de flujo utilizable eficientemente. Se debe tratar siempre de lograr los costos totales mínimos que resultan de los costos de inversión y de operación.

En el caso de longitudes de tubería cortas se puede tolerar velocidades de flujo considerablemente mayores. Por ejemplo, es posible realizar los codos pivotables con menor diámetro nominal que el de la tubería para facilitar la manipulación. En tuberías de aspiración delante de bombas se debe garantizar, por el contrario, menores velocidades de flujo, y con

ello menores pérdidas de presión, a los efectos de excluir la cavitación. Esto vale en particular para el transporte de medios calientes que contienen gas y se encuentran bajo presión previa reducida o bien para el transporte desde tanques sin presión. En muchos casos puede llegar a ser necesaria una determinada altura de alimentación; es decir, que la bomba debe ser instalada lo más bajo posible o se debe elevar las salidas de los tanques.

Una información importante respecto de la altura de alimentación está dada por el valor NPSH (net positive suction head) de la bomba, el cual cumple un papel importante en la planificación de planta. El valor NPSH puede ser averiguado en la hoja de datos de la bomba. Más detalles al respecto en Sección 10.5.1.3.

Según indicaciones de la literatura especializada, se debería tratar de alcanzar las siguientes velocidades de flujo en tuberías y accesorios, teniendo en cuenta las pérdidas de presión resultantes:

templa para cubas de clarificación	≤ 1,5 m/s
templa para filtro de templa y en la destilería	≤ 2,5 m/s
mosto y cerveza	≤ 3,0 m/s
agua	≤ 4,0 m/s
agua en tuberías largas	≤ 2,0 m/s
suspensiones espesas de levadura	≤ 1,0 m/s
tuberías de aspiración de bombas, medios fríos	≤ 1,8 m/s
tuberías de aspiración de bombas, medios calientes sin presión de alimentación	≤ 1,0 m/s
refrigerantes secundarios (glicol, salmuera)	≤ 2,0 m/s
amoníaco líquido	≤ 1,6 m/s
amoníaco gaseoso	≤ 20 m/s
aire comprimido, CO_2	10 - 25 m/s
aire de control	≤ 10 m/s
vapor a presión ≤ 3 bar	15 - 25 m/s
vapor a presión de 10 a 40 bar	20 - 40 m/s
gases en tuberías de aspiración	6 - 10 m/s
condensado	≤ 2 m/s

En medios que contienen CO_2 debe tenerse en cuenta, al establecer la velocidad de flujo, que en ningún lugar del trayecto de flujo la presión sea menor que 1,5 veces el valor de la presión parcial del CO_2 (ésta corresponde a la presión de equilibrio del CO_2 y es una función de la temperatura y del contenido de CO_2).

La velocidad de flujo en los procesos de CIP debe establecerse en dependencia de la temperatura y el diámetro nominal de manera tal que esté asegurado un componente mecánico suficiente de los medios de CIP (el espesor de la capa límite es una función del número de Reynolds, ver también[1]).

La velocidad de flujo en una tubería se puede calcular a partir del caudal y del diámetro (ecuación 1):

$$\dot{V} = w \cdot A = w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad (1)$$

$\dot{V}$ = caudal en m^3/s
w = velocidad de flujo en m/s
A = área de sección transversal en m^2
d = diámetro de la tubería en m

A los efectos prácticos, estos cálculos pueden ser realizados utilizando un nomograma; los valores intermedios son fácilmente interpolables. En muchos casos, estos nomogramas permiten también la estimación de las pérdidas esperables de presión.

Estimación de las pérdidas de presión por medio de un nomograma para líquidos

Como alternativa del cálculo de la pérdida de presión causada dinámicamente por una instalación de tuberías existe la estimación utilizando un nomograma. Este último brinda precisión suficiente para la industria de fermentación y de bebidas.

Con el nomograma se determina una altura de pérdida de presión ΔHv, referida a 100 m de longitud de tubería. La pérdida de pre-

sión proporcional a la altura de pérdida de presión resulta de la ecuación:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H_v \qquad (2)$$

Aquí

Δp = pérdida de presión en N/m^2

ρ = densidad en kg/m^3

g = aceleración de la gravedad = 9,81 m/s^2

Hv = altura de pérdida de presión como columna de líquido en m

Se puede asumir para el agua, con buena aproximación:

Hv = 10 m

Δp = 1 bar (más preciso 0,981 bar)

La altura de pérdida de presión se indica sobre la ordenada en metros de columna de agua por cada 100 m de longitud de tubería; sobre la abscisa se marca el caudal.

El principio de la determinación simplificada de la pérdida de presión consiste en los siguientes pasos:

1. determinación de la longitud real de tubería en metros,
2. conversión de los componentes de tubería o válvulas existentes en una longitud equivalente de tubería,
3. determinación de la longitud aparente de tubería a partir de las pos. 1ª y 2ª,
4. determinación de la altura de pérdida de presión en el nomograma, para un diámetro nominal dado y el caudal previsto, en metros de pérdida de presión por cada 100 m de longitud de tubería,
5. cálculo de la altura de pérdida de presión a partir de las pos. 3ª y 4ª, y conversión a pérdida de presión usando la ecuación.

Ejemplo: un caudal (agua) de 40 m^3/h es transportado a través de un tubo de diámetro nominal DN 50 (50 mm) a lo largo de 60 m. ¿Cuán grande es la pérdida de presión?

En el nomograma efectuamos la lectura sobre la abscisa (ejemplo en color naranja): 40 m^3/h y seguimos esta línea hasta la línea oblicua ascendente hacia la derecha de DN 50. Allí, sobre la línea oblicua ascendente hacia la izquierda, podemos efectuar la lectura de la velocidad de aproximadamente 5,7 m/s; sobre el borde izquierdo del nomograma obtenemos la altura de pérdida de presión de 80 m/100 m de longitud de tubo.

Si la altura de pérdida de presión es 80 m en 100 m de longitud de tubería, entonces será 48 m en 60 m de longitud de tubería.

Ponemos este resultado en la fórmula mencionada más arriba:

$\Delta p = \rho \cdot g \cdot Hv$

$\Delta p = 1000\ kg/m^3 \cdot 9{,}81\ m/s^2 \cdot 48\ m = 470.880\ N/m^2 = 470.880\ Pa = 4{,}7\ bar$

La pérdida de presión es 4,7 bar.

Pero, si aumentamos el diámetro nominal de nuestra tubería a DN 65 (65 mm) manteniendo el caudal de 40 m^3/h, entonces resulta de ello una altura de pérdida de presión de 22 m (línea en trazos) y una velocidad de flujo de 3,4 m/s (línea oblicua ascendente hacia la izquierda). De esto resulta una altura de pérdida de presión de 22 · 60 : 100 = 13,2 m y con ello una pérdida de presión de 1,3 bar.

11.3.5.5 Medidas contra golpes de ariete y vibraciones

Los golpes de ariete aparecen cuando la energía cinética de un flujo de líquido en una tubería es transformada en corto tiempo en energía potencial, y viceversa; por ejemplo: por cierre o apertura abruptos de válvulas, que ocurren con altas velocidades de flujo o con presiones elevadas (¡errores de operación!).

A los efectos de prevenir los golpes de ariete o picos de presión no permitidos, la velocidad de flujo en la tubería debería ser tan baja como sea posible y los tiempos de maniobra de las válvulas no deberían ser demasiado cortos.

11

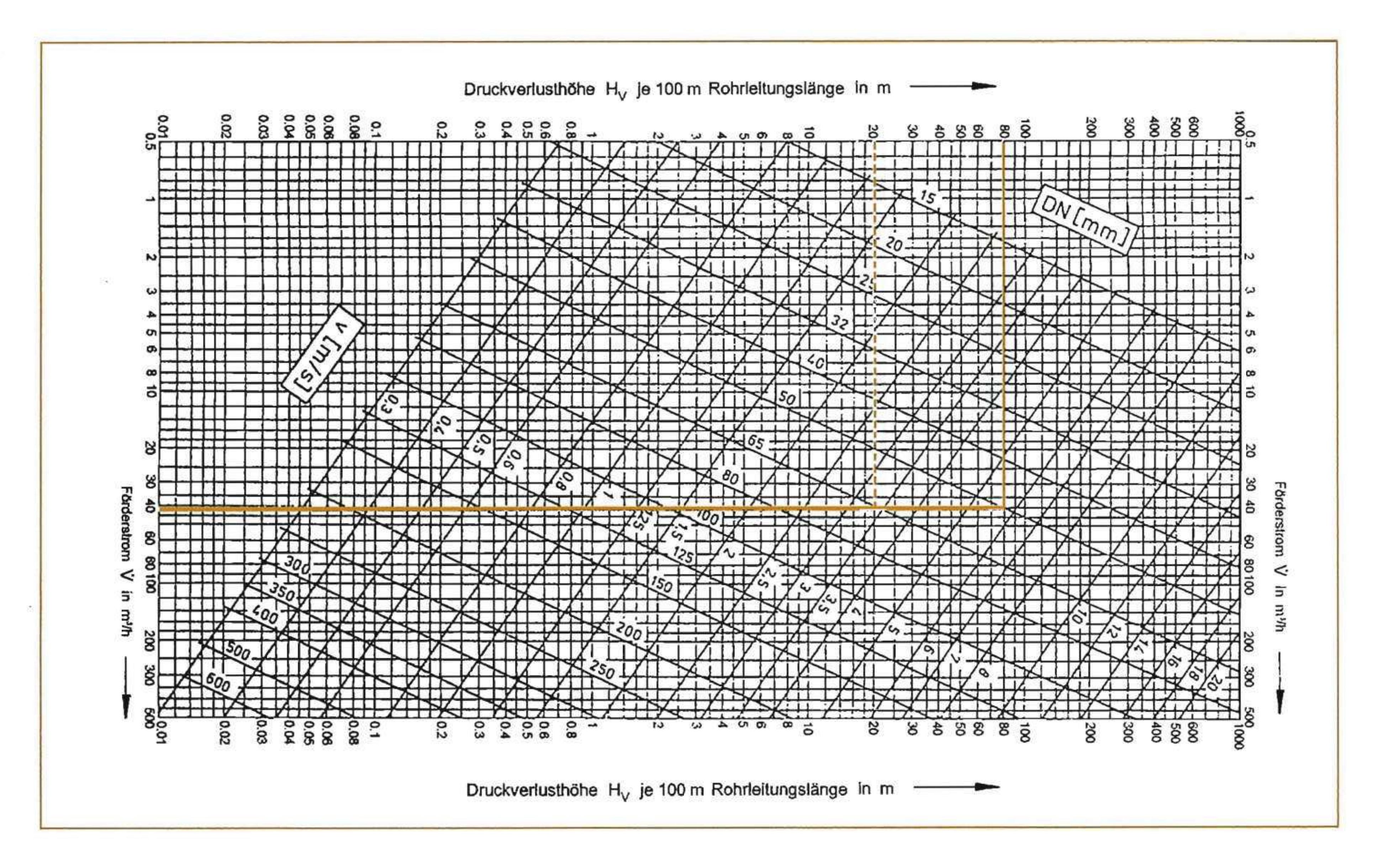


Figura 11.19
Nomograma para la determinación de la velocidad de flujo y la pérdida de presión en tuberías
Pérdidas de presión Hv en m por cada 100 m de longitud de tubería
Caudal en m³/h

El cumplimiento de la condición mencionada en último lugar es difícil de llevar a cabo en el caso de dispositivos de cierre con un ángulo de cierre de 90° (válvula mariposa, válvula esférica) con accionamiento manual, y depende siempre de influencias subjetivas por parte del personal.

Pero tampoco la utilización de válvulas operadas a distancia se lleva a cabo sin problemas. Dado que el par inicial de apertura necesario es relativamente grande, hay un exceso de par en la apertura que causa que ésta sea rápida. Durante el cierre, la mayor parte del ángulo de cierre casi no tiene influencia sobre el flujo de líquido. Recién en el último tramo ocurre una fuerte desaceleración.

Una ayuda para la solución de esta problemática puede consistir en usar dispositivos de estrangulación ajustables en las tuberías neumáticas.

En el caso de válvulas de doble asiento, el flujo de líquido hasta puede aumentar la velocidad de cierre. Una instalación de las válvulas adecuada al flujo puede ser de ayuda.

Otra forma de operación a tratar de seguir en plantas automatizadas es el accionamiento de las válvulas cuando no se encuentran bajo presión. Recién luego de la apertura de los trayectos de flujo se conectan las bombas. Es conveniente realizar esto último a través de un convertidor de frecuencia con rampa de arranque ajustable. La desconexión se produce en la secuencia inversa.

La operación de bombas por medio de convertidores de frecuencia o al menos con "arranque suave" naturalmente también es posible de forma ventajosa en el caso de control manual.

En los casos en que no se pueda compensar completamente los picos de presión a través del sistema de control, es posible utilizar válvulas de rebose automáticas, las cuales, sin embargo, deben ser operadas por ciclos en los procesos CIP. Las vibraciones o pulsaciones pueden ser causadas por bombas, compresores o dispositivos de estrangulación. Los tanques amortiguadores o los colchones de gas (con función de cámara de aire) pueden ser de ayuda, pero, en cualquier caso, significan un gasto adicional, sobre todo en CIP. También el desacoplamiento de tuberías y bombas por medio de juntas de expansión o mangueras, etc., puede disminuir las vibraciones. A fin de amortiguar vibraciones (amortiguación de ruidos), los dispositivos de sujeción de tuberías se colocan a veces sobre caucho.

11.3.5.6 Purga de aire de tuberías, extracción de oxígeno

El caso ideal de la tubería permanentemente ascendente es técnicamente difícil de realizar. Las diferencias de altura implican que la tubería no puede purgarse por sí sola.

Las válvulas de purga de aire automáticas o controladas, colocadas en los respectivos puntos más altos de la tubería, brindan una ayuda para esto. Sin embargo, en el caso de tuberías de producción, este tipo de válvulas generalmente no puede ser usado por motivos de limpieza/desinfección.

La desgasificación/extracción de oxígeno es en muchos casos una condición previa importante para el aseguramiento de calidad. Puede realizarse por:

- desplazamiento o solución del oxígeno por medio de agua libre de oxígeno,
- desplazamiento del oxígeno por medio de CO_2.

La aplicación de agua desgasificada presupone que hay existencias suficientes y velocidades de flujo suficientemente elevadas. Siempre que las burbujas de gas no puedan ser desplazadas por la corriente, se puede extraer el oxígeno únicamente por solución en agua. Este procedimiento es dependiente del tiempo y es limitado por la diferencia de presión parcial.

Es por este motivo que no se puede extraer oxígeno por medio de agua saturada de aire. Los costos relativamente altos para la puesta a disposición del agua libre de oxígeno y del agua misma son una desventaja en esta variante. El barrido de la tubería con gas inerte, preferentemente con CO_2, que al mismo tiempo puede ser utilizado para el establecimiento de la contrapresión en la tubería, es considerablemente más económico y se logra la extracción total de oxígeno.

La presión del gas de barrido debe estar aproximadamente 0,4...1,5 bar por encima de la máxima presión estática posible de la columna de líquido. Con sobrepresión reducida se requiere relativamente mucho tiempo de barrido.

El gas de barrido sólo puede ser utilizado parcialmente para la extracción de restos de líquido, dado que éstos son "pasados por arriba en el barrido" en tuberías horizontales.

11.3.5.7 Realización de aislaciones térmicas en tuberías

En las aislaciones térmicas (también llamadas "aislamientos térmicos"), el espesor de la capa aislante es establecido según criterios económicos: los gastos deben ser puestos en relación con los costos de energía ahorrables. Se debe tener en cuenta en esto futuros desarrollos de los costos.

Son materiales aislantes importantes la espuma rígida de PUR, preferentemente preparada in situ, y elementos prefabricados (medias cañas) de espuma de poliestireno o de vidrio celular (foam glas) para tuberías que operan en frío ("aislaciones para frío"). Para el mismo propósito se usan también plásticos espumados (plásticos celulares blandos, elastómeros) (por ejemplo: bajo el nombre comercial "AF/Armaflex").

Para aislaciones térmicas a temperaturas por encima de la temperatura ambiente se utiliza sobre todo lana mineral; raramente se usa lana de vidrio.

En todas las tuberías que operan en frío (tuberías de producto, agua helada, agua fría, refrigerantes secundarios, agentes refrigerantes) debe eliminarse de forma fiable la difusión de vapor de agua. Esta desmejora considerablemente los coeficientes de conductibilidad de calor de los materiales aislantes y, al alcanzar el punto de rocío, causa condensación o bien empapamiento del material aislante.

Dado que no existen plásticos resistentes a la difusión, se debe utilizar capas metálicas a prueba de agua (llamadas "cierre de vapor") como cierre de la capa aislante.

El cierre de vapor de agua se combina por lo general con la protección mecánica de la aislación. La protección mecánica sirve por lo general también para protección contra las inclemencias climáticas.

Se utiliza sobre todo chapa de aluminio, chapa de acero, galvanizada (en parte también con revestimiento adicional de plástico) y chapas de acero inoxidable, en parte con superficie estructurada para mejorar el aspecto. Las superficies lisas o pulidas muestran muy claramente defectos de redondez, abolladuras, rayaduras, etc.

La protección contra la difusión de vapor de agua también puede realizarse con una lámina compuesta de Al/PE, la cual es pegada o soldada y protegida con una cubierta dura apropiada. La utilización de productos bituminosos, como cierres de vapor, ha caído en desuso.

El cierre de vapor debe ser fabricado, entonces, resistente a la difusión (empleo de masilla para sello o soldado de las chapas). La conformación de las piezas de extremos debe ser hecha con esmero. Se debe dar preferencia al disco soldado de extremo.

Los dispositivos de sujeción o de apoyo de las tuberías aisladas térmicamente deben tener una forma tal que el cierre de vapor no sea interrumpido. Es por ello conveniente la utilización de medias cañas sobre las cuales

se encuentra la cubierta dura, que las cubre en forma de lámina.

Las tuberías aisladas térmicamente deberían ser tendidas de manera tal que no puedan ser dañadas en el caso de trabajos de mantenimiento y reparación (las versiones con espuma rígida de PUR, en especial las espumas realizadas in situ, tienen ventajas al respecto; las aislaciones térmicas no deben ser transitadas).

11.3.5.8 Diseño de descargas de tuberías

Las tuberías de soplado y las de rebose de válvulas de seguridad, las tuberías de purga de aire, las de drenaje y las de enjuague, las tuberías de salida de CIP, etc., que deben descargar un medio bajo presión, deberían desembocar en tanques o tuberías a fin de prevenir que los medios salpiquen sobre el piso o bien para descargar estos últimos sin riesgos (peligro de escaldaduras, peligro de causticación). En cualquier caso es conveniente la integración en el sistema de aguas residuales, la cual debe ser directa y a prueba de escape bajo presión.

Si estas tuberías deben finalizar libremente encima del piso, se las debería tender lo más posible hacia abajo y sujetar de forma estable. El extremo de tubería debería ser un recipiente de impacto que rompa el chorro antes de que éste llegue al piso para evitar salpicaduras.

11.3.5.9 Protección de las tuberías contra heladas y taponamiento

Las tuberías pueden ser equipadas con un tracing de calefacción para prevenir la congelación. El calentamiento ocurre por lo general eléctricamente y es controlado por un termostato. Las cintas de calentamiento por resistencia son arrolladas alrededor de la tubería y protegidas por la aislación térmica ya de por sí existente.

Otros medios de calentamiento pueden ser vapor, condensado y agua. Por supuesto, que el funcionamiento de los sistemas de tracing de calefacción debe ser supervisado.

En caso de emergencia se puede:

- bombear una tubería en circulación,
- ajustar un pequeño caudal (recirculación permanente),
- vaciar la tubería. En caso de no ser posible un vaciado completo, se puede vaciar la tubería con gas de contrapresión o se mantiene un reducido caudal de gas.

Los medios que cristalizan al quedar por debajo de una determinada temperatura (por ejemplo: soda cáustica o soluciones de azúcar) o que aumentan considerablemente su viscosidad deben ser diluidos o deben ser termostatizados.

11.3.5.10 Espacios muertos en tuberías

Por principio no debe haber espacios muertos en tuberías de producto, CIP, agua, etc., en la industria de fermentación y de bebidas. Para todos los demás medios de suministro y de evacuación también se trata de lograr la ausencia de espacios muertos (ver al respecto Sección 6.5).

El estado ideal es la tubería continua, sin derivaciones. Es decir, un solo tramo de tubería. Es por ello que, en caso de necesidad, las tuberías son "pasadas en bucle" de forma similar a lo que ocurre en la electrotecnia a los efectos de evitar tramos muertos de tubería.

En los casos que requieran derivaciones, por ejemplo, para conectar un tanque cilindrocónico a una tubería de producto, la derivación es cerrada con una válvula de cierre.

Es importante que la válvula se encuentre tan cerca de la tubería como sea técnicamente posible a fin de minimizar el espacio muerto formado.

Se debe tratar de que la distancia máxima hasta el extremo de la derivación sea menor que el diámetro de tubería. También en la conexión de circuitos de tubería con alimentación y retorno de CIP, los puntos de cone-

xión deberían ser colocados tan cerca como sea posible de la válvula de cierre. Las derivaciones son dispuestas usualmente de forma horizontal al eje de tubo. De esta manera se evitan residuos de producto y burbujas de gas.

A los fines prácticos, las derivaciones de tubería son cerradas con una tapa ciega y se abren las válvulas de cierre. De este modo son limpiadas permanentemente con las tuberías durante la limpieza de estas últimas según el proceso CIP.

11.3.5.11 Tuberías de vapor

Debe asegurarse de que las tuberías de vapor puedan dilatarse sin impedimentos.

A los efectos de prevenir golpes de condensado se debe realizar el tendido de la tubería de manera tal que el condensado formado inevitablemente pueda ser acumulado y evacuado en intervalos regulares.

Los drenajes deben ser equipados con un volumen tampón que tenga el diámetro nominal de la tubería (Tee), el cual luego es reducido al diámetro nominal de la tubería de condensado. Para el drenaje de condensado hay que utilizar sistemas apropiados de drenaje de condensado. Se los combina con filtros de tubo. Los condensados son acumulados y alimentados a la caldera, en lo posible sin pérdidas. Se debe tratar de tener sistemas cerrados de condensado. Los vahos de expansión producidos deberían ser utilizados. Las derivaciones de tuberías de vapor son dispuestas sobre la parte superior del tubo. Las tuberías de vapor frías deben ser puestas en servicio lentamente. Las tuberías de vapor y de condensado deben ser equipadas con una aislación térmica. Se debe evitar que haya puentes transmisores de calor en los dispositivos de sujeción de tuberías.

11.3.6 Indicaciones respecto del diseño de aislaciones térmicas

11.3.6.1 Indicaciones generales

Las máquinas, los aparatos, las tuberías y los equipos, incluyendo las válvulas, son equipados con una aislación térmica para disminuir las pérdidas de energía. La aislación térmica debe incrementar la inercia térmica con el objetivo de disminuir las pérdidas.

La fuerza que impulsa la transmisión de calor –preferentemente por conducción de calor y por convección; en parte también por radiación– es una diferencia de temperatura. Dado que las causas de la convección y la

Tabla 4 Materiales aislantes y coeficiente de conductibilidad térmica λ

Material aislante	λ en W/(m·K)	Densidad en kg/m³
espuma de poliestireno	0,04	22...25
espuma rígida de PUR		
(espuma rígida de poliuretano)	0,03...0,035	
espuma libre de CFC,		≥ 45
aplicada in situ (espuma libre		
de hidrocarburos clorofluorados)	0,038 a 20 °C	
vidrio celular	0,44	150
mantas de lana mineral	0,03	≥ 110
mantas de lana de vidrio	0,03... 0,045	55...130
plástico celular blando "Armaflex"	0,034 a -20 °C	
	0,036 a 0 °C	aprox. 90

radiación prácticamente no pueden ser influenciadas, se trata de reducir el flujo de calor a través de la disminución de la conducción de calor. La evitación de formación de agua de condensación en las tuberías y en las superficies de aparatos que operan en frío también es una tarea de la aislación térmica.

La necesidad de la aislación térmica es justificada con la disminución de las pérdidas energéticas, las cuales son en parte un factor importante de costos que es influenciado directamente por los precios de energía. Por lo tanto es dinámico. Es por ello que en el dimensionamiento de las aislaciones térmicas se debe tener en cuenta el desarrollo de los precios de energía.

Se trata de obtener el espesor económico de material aislante teniendo en cuenta los costos de energía y aislación térmica continuamente crecientes. La "vida útil" de una aislación térmica y el mantenimiento de las bases de cálculo cumplen un papel importante en esto.

De acuerdo con esto se requiere, por ejemplo para tanques cilindrocónicos, un espesor de capa aislante ≥ 100 mm. Actualmente se realizan espesores de capa de 120...150 mm.

Las tuberías se aíslan con espesores de 40...60 mm.

11.3.6.2 Evitación de la difusión de vapor de agua y la formación de agua de condensación

Los elementos de equipamiento que operan en frío (operan por debajo de la temperatura del ambiente o de la temperatura del aire circundante) tienden a formar agua de condensación. La causa de ello es que han alcanzado o se encuentran por debajo del punto de rocío del aire.

Lo mismo rige para aislaciones térmicas cuya temperatura superficial es menor que la temperatura del aire circundante. Es por ello que el espesor de una capa aislante debe ser dimensionado de manera tal que sobre la superficie definitivamente no se alcance el punto de rocío.

Por el mismo motivo también se debe prevenir en una capa de aislación térmica que, debido a la difusión de vapor de agua en el material aislante, pueda condensar vapor de agua en los lugares de temperatura de punto de rocío. El condensado empaparía el material aislante e incrementaría considerablemente el coeficiente de conductibilidad de calor.

La difusión de vapor de agua sólo puede ser prevenida por medio de capas de cierre metálicas (chapas, láminas compuestas de metal) o por medio de capas de pintura bituminosa o cartón embetunado, revestido con lámina de aluminio. El cierre de vapor de agua, también denominado "cierre de vapor", debe ser colocado siempre del lado que tenga mayor temperatura.

11.3.7 Indicaciones respecto de la conexión de tuberías, la utilización de válvulas y la toma de muestras

11.3.7.1 Indicaciones generales

Por principio, el número de válvulas usadas debería ser minimizado para ahorrar costos y eliminar posibles fuentes de error, en particular en lo que respecta a eventuales contaminaciones.

En la industria de fermentación y de bebidas se emplean dos variantes básicas de la técnica de conexión para tuberías y aparatos o equipos:

- la conexión manual mediante pieza de unión o codo pivotante, y
- la tubería fija.

Naturalmente, entre estos dos extremos son posibles todas las variantes intermedias.

Si la planta es automatizada, ya no es posible la técnica de conexión manual, la que, en cambio, es adecuada sobre todo en los casos:

- en los que la frecuencia de operación se

extiende por largos períodos o

- en los que el cronograma puede ser dispuesto flexiblemente, y
- en los que importa que los costos de instalación y de mantenimiento sean bajos.

Por ejemplo, una sección de tanques cilindrocónicos para fermentación y maduración brinda márgenes relativamente grandes para llenado, vaciado y CIP. Asimismo, los distribuidores para tuberías de alimentación y retorno de CIP se pueden construir económicamente con la técnica de paneles.

En la técnica de conexión manual se debe prevenir que ingrese O_2 a través de codos pivotantes u otros elementos de conexión; por ejemplo: barriendo los elementos de conexión con CO_2. Esto rige naturalmente del mismo modo para la tubería fija.

Al menos en plantas de mayor tamaño, la conexión de un equipo de filtración con la sección de tanques de presión, o la conexión de esta última con diferentes equipos de llenado, prácticamente ya no es realizable de forma manual.

11.3.7.2 La técnica de conexión manual

La técnica de conexión manual y la conexión manual de válvulas/trayectos de flujo presuponen un modo de trabajo calificado y esmerado por parte del personal de operación. La exigencias con relación al personal en lo que respecta a un modo de trabajo pobre en contaminaciones o libre de ellas son considerables pero controlables.

El estado superficial de los elementos a ser conectados requiere gran atención. Estos últimos deben estar libres de contaminaciones. Es por ello que:

- deben ser lavados y desinfectados luego del uso o
- se los incluye completamente en la limpieza/desinfección por CIP, y
- se debe mantener el estado libre de contaminaciones, por ejemplo, por medio de tapas ciegas atornilladas, guardado bajo solución desinfectante o bien rociado/pintado con esta última.

Las válvulas de cierre en derivaciones de tubería son cerradas, a los fines prácticos, con

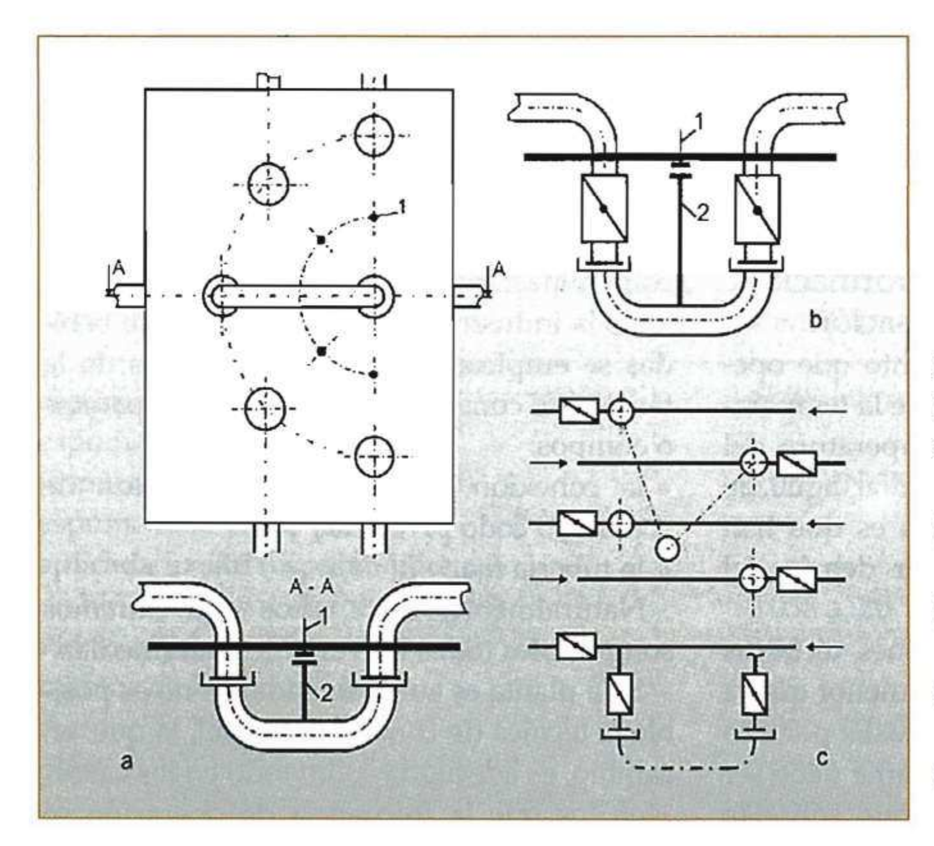


Figura 11.20
Derivaciones de tuberías y técnica de paneles en varias formas;

(a) separación de la tubería, sin válvulas,
(b) separación de la tubería, con válvulas,
(c) derivación de una tubería, con válvulas;
(1) sensor para indicación de posición del codo pivotante

tapas ciegas y quedan en posición abierta. De este modo se incluyen también las derivaciones en los procedimientos de CIP. Las conexiones roscadas y las tipo clamp no pueden compensar desviaciones axiales o angulares. Es por ello que la piezas a conectar deben encajar entre sí de forma absolutamente paralela.

La técnica de paneles mediante conexión por codos pivotantes sólo puede ser operada de forma manual. Sin embargo, las ventajas son:

- los costos reducidos,
- la elevada seguridad de operación o lo inequívoco de la conexión.

Si en una tubería es necesario realizar varios puntos de conexión, existen dos variantes para la técnica de paneles, las cuales se diferencian en requerimiento de válvulas (ver también Figura 11.20).

Los codos pivotantes o codos pivotantes con articulación pueden ser realizados con su diámetro nominal menor que el de la tubería a fin de mejorar la manipulación. Las pérdidas de presión debidas al menor diámetro nominal generalmente pueden ser ignoradas.

11.3.7.3 Tubería fija

En la tubería fija de una planta se efectúan todos los trayectos de flujo requeridos. La activación de los trayectos de flujo se realiza a través de válvulas que son accionadas manualmente o a distancia. También en este caso, los avisos de posición de las válvulas son evaluados por un control. Cuando existen fallas, éstas son avisadas y la planta conmuta automáticamente a un estado establecido y definido.

Los sistemas de tuberías fijos brindan una seguridad relativamente alta para que la operación se desarrolle de forma inequívoca, transparente y documentada. Con un cierto equipamiento de sensores y de controles se puede evitar que ocurran conexiones erróneas.

Las condiciones previas para un desarrollo de operación sin compromisos son entre otras:

- un diseño óptimo de planta y de tuberías,
- los trayectos de flujo no deben tener zonas muertas,
- la prevención de mezcla accidental de medios,
- válvulas y conexiones de tuberías en condiciones de funcionar, que estén bien mantenidas; juntas aptas para el funcionamiento,
- el control de pérdidas en las válvulas,
- la instalación de tuberías y válvulas debe estar realizada apropiadamente,
- procedimientos regulares de CIP,
- procesos probados y seguros operacionalmente, así como parámetros reproducibles de proceso para todas las fases de producción y de limpieza,
- un sistema de aseguramiento de calidad en condiciones de funcionamiento.

Esta forma de conexión de tuberías es una necesidad en las plantas automatizadas y debería ser preferida siempre si

- se exige una gran seguridad frente a contaminaciones y si
- la frecuencia de mando es elevada.

Las válvulas de doble asiento en sus diferentes variantes de constructivas –por ejemplo: como válvula de salida de tanque, como válvula de doble asiento con elevación de asiento de válvula, válvula de doble asiento de construcción resistente a los golpes de ariete, válvula de doble asiento de tipo estéril– poseen considerables ventajas particularmente en el diseño de las conexiones de tubos como matriz en 2 niveles ("nudo de tuberías"). El establecimiento de la forma constructiva de la válvula, que sea apta para la función a cumplir, es eminentemente importante en esto. Ver al respecto Sección 4.4.2.1.

Esta disposición de las válvulas, que es económica en espacio, tiene las ventajas del reducido espacio necesario, la posibilidad de prefabricación y ensayo funcional de la com-

binación de válvulas completa; y con ello un montaje en obra y una puesta en servicio sencillos y con plazo breve. Naturalmente es importante la buena accesibilidad de las válvulas para propósitos de mantenimiento y reparación.

Las carcasas de válvula son soldadas por lo general para formar una matriz. Es importante en esto permitir la posibilidad de dilatación de los tramos de tubería en el caso de variaciones de longitud debidas a cambios de temperatura (por ejemplo: una tubería caliente, una fría). Esta exigencia limita el número de válvulas de un nudo, dispuestas en fila, o bien requiere el uso de juntas de expansión (en la práctica, frecuentemente esto no se considera).

Los tipos modernos de válvulas de doble asiento poseen válvulas piloto integradas y mando por bus, y por ello posibilitan considerables reducciones en el esfuerzo de montaje.

11.3.7.4 Válvulas para tuberías y elementos de planta

Las válvulas para tuberías de producto en la industria de fermentación y de bebidas deben ser seleccionadas teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- función de la válvula,
- seguridad de funcionamiento, en particular exclusión de mezclas de producto,
- evitación de contaminaciones,
- gasto,
- aptitud para CIP.

Las válvulas para tuberías de producto se diseñan, desde el punto de vista funcional, como:

- válvulas de cierre (formas constructivas: válvula mariposa (ver Figura 4.31), válvula de doble asiento (ver Figura 4.32); el grifo macho ha caído en desuso; la válvula esférica moderna también es utilizada en circuitos de CIP,
- válvulas de salida de recipientes (como forma constructiva especial de las válvulas de cierre),
- válvulas de toma de muestras (ver Figura 11.21),
- válvulas multivía, como válvula de globo multivía (válvulas de dos vías/válvulas de conmutación, válvulas con 2, 3 y 4 conexiones de carcasa; en general, construida como válvula de doble asiento),
- también como grifo multivía (caído en desuso),
- válvulas de seguridad (válvulas usadas como válvula de sobrepresión, válvula de rebose, válvula de vacío o tapa de vacío),
- válvulas de ajuste o de regulación (generalmente diseñadas como válvula de globo, raramente como válvula esférica).

La seguridad de funcionamiento comprende sobre todo la resistencia a la temperatura y a la corrosión, o a los productos químicos, por parte de los materiales y los materiales de las juntas, la estanqueidad dentro del rango de presión nominal y la resistencia a los golpes de ariete. En esto se cuenta también la seguridad contra mezclas no intencionales de producto.

Esto incluye también el comportamiento definido de la válvula en caso de falta de energía auxiliar en el accionamiento. Los accionamientos son operados casi exclusivamente con energía auxiliar neumática ($p \geq 6$ bar (m)); esporádicamente, también de forma hidráulica o mecánica. El accionamiento de pistón o de ángulo de giro puede abrir con aire comprimido y cerrar por muelle o al revés. También es posible la variante de apertura y cierre por aire comprimido.

La posición actual de la válvula debe ser comunicada al control a través de sensores. Es preferible la señalización de ambas posiciones finales. Frecuentemente se registra solamente el estado activo por motivos de ahorro de costos.

La forma constructiva de las válvulas debe permitir un trabajo libre de contaminaciones o pobre en ellas. No debe haber ranuras y espacios muertos, y los sellos estáticos y dinámicos deben ser de forma apropiada para su función.

El gasto material o bien los costos de válvulas son influenciados considerablemente por el diámetro nominal necesario, la presión nominal, el material y el tipo. Es por ello que la selección de válvulas y el establecimiento de los parámetros deben ser hechos cuidadosamente.

La aptitud para CIP presupone materiales apropiados y una calidad superficial (rugosidad) apropiada así como un diseño adecuado.

Las rugosidades medias aritméticas deseables en válvulas, tuberías, máquinas y aparatos deberían estar ajustadas entre sí. La evaluación de la calidad superficial de todos los componentes en contacto con productos debe ser realizada según criterios y requerimientos uniformes.

En este contexto es relevante ajustar los parámetros de CIP a las superficies de los materiales existentes. Por principio se debe aspirar a tener limpieza en caliente.

11.3.7.5 Válvulas de toma de muestras

Las válvulas de toma de muestras en el lugar correcto son imprescindibles para las necesidades del aseguramiento de calidad en la industria de fermentación y de bebidas.

Las válvulas usadas deben permitir la extracción de una cantidad de muestra representativa y pura, y no deben convertirse ellas mismas en fuente de contaminación.

En muchos casos, la toma de muestras libre de espuma también debe ser posible con medios que contienen CO_2.

Los requerimientos, en lo que respecta a una válvula de toma de muestras, son:

- debe estar garantizada la toma de la muestra bajo condiciones asépticas,
- no deben quedar residuos de producto en la válvula, que debería ser enjuagable,
- debe ser posible la limpieza/desinfección/esterilización automáticas de la válvula antes y después de la toma de muestras (flameado),
- la válvula debería ser apta para CIP; las válvulas accionadas manualmente operan constantemente con caudal reducido durante el programa de CIP y deberían ser abiertas y estranguladas en intervalos; las válvulas con accionamiento regulador son operadas por ciclos.

Los tomadores de muestras automáticos cumplen por lo general con estos requerimientos y la muestra es recogida en un recipiente estéril. Son limpiados según el proceso de CIP. De este modo es posible obtener de forma relativamente sencilla muestras promedio a lo largo de un intervalo predeterminado.

En el caso de exigencias mayores en lo que respecta al trabajo libre de contaminaciones, los tomadores de muestra pueden ser operados con un cierre de vapor.

Las válvulas accionadas manualmente deben ser enjuagables y deberían disponer de dos conexiones obturables (tubuladura roscada, boquilla portatubo, tapón). Luego de la toma de muestra se hace el enjuague y se llena con un agente desinfectante (solución de ácido peracético, solución de etanol, etc.).

Deben estar dadas las condiciones para el enjuague después de la toma de muestras; por ejemplo: conexiones de agua con diámetro nominal apropiado.

Las válvulas con sólo una salida deben quedar llenas luego del procedimiento CIP y la primera toma de muestras. Luego del enjuague, la salida es introducida en un contenedor lleno de solución desinfectante de manera de poder excluir contaminaciones. Para esto también son adecuados tubos espiralados de compensación. Alternativamente está también de forma limitada la posibilidad

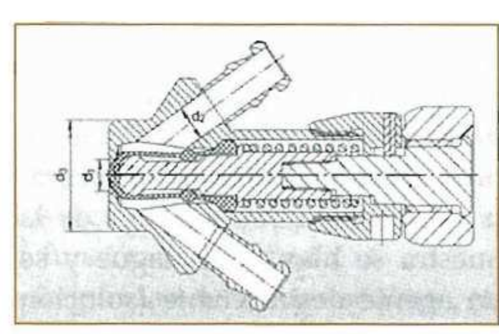
del enjuague y la desinfección, pero esto presupone un modo de trabajo calificado y la predisposición para el trabajo adicional esmerado.

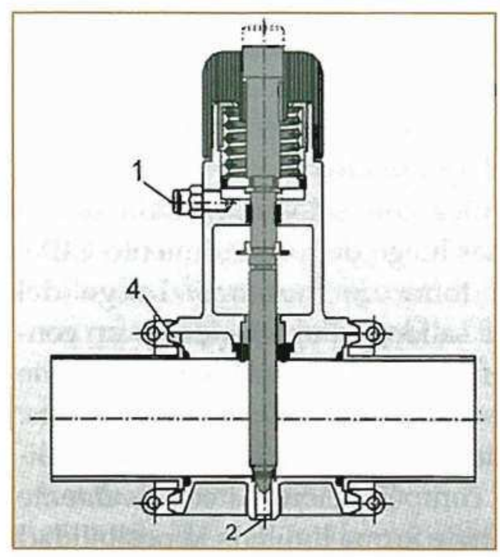
Las válvulas de toma de muestras se construyen también como válvulas de membrana (sello elastómero/metal) o como válvulas aguja (sello metal/metal o metal/elastómero).

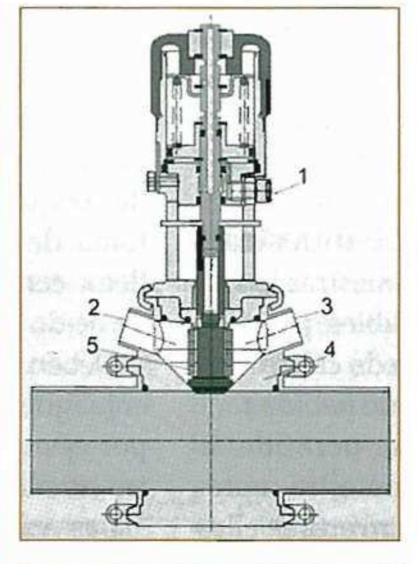
Los grifos de macho para toma de muestras, utilizados mucho en el pasado, por principio son inadecuados desde el punto de vista microbiológico. Bajo ciertas circunstancias, los grifos de macho modernos de diseño especial, con juntas tipo O' Ring de DN 2...4, también pueden ser un compromiso aceptable en la limpieza en caliente. Las válvulas esféricas de DN 6 (R 1/4") ó 10 (R 3/8") no son la primera selección, pero son económicas, estancas y, con una manipulación adecuada, son un compromiso aceptable. En la limpieza CIP, que por principio es en caliente, estas válvulas esféricas deben ser accionadas varias veces y deben operar permanentemente estranguladas (limpieza por monouso del agente de limpieza, también llamada "limpieza perdida"). La salida debería estar conectada con un tubo espiralado de compensación ya antes de la esterilización (ver más arriba).

En lo que respecta a los contaminantes, el flameado usual de la válvula de toma de muestras sólo puede mejorar el estado superficial. Un efecto térmico es ilusorio en válvulas/tuberías ocupadas con producto debido a la propagación del calor. ¡En el caso de los grifos de macho se elimina también la lubricación! Es por ello que, por principio, se debe dar preferencia a la descontaminación profiláctica de los trayectos de flujo y los utensilios de toma de muestra deben ser guardados en solución desinfectante.

En la figura 11.21 se muestran distintas válvulas de toma de muestras.







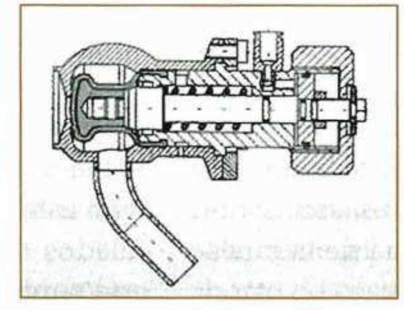


Figura 11.21
Válvulas de toma de muestras, ejemplos

(a) válvula de toma de muestras, empresa KEOFITT (DK) (d_1 = 5 ó 8 mm, d_2 = 4 ó 9 mm, d_3 = 25 mm o conexión para VARIVENT®, enjuagable

(b) sistema de toma de muestras VARIVENT®, empresa GEA-TUCHENHAGEN, fabricado para tubos DN 10...125
(1) aire comprimido, (2) carcasa VARIVENT®, (3) muestra

(c) válvula de toma de muestras, empresa SÜDMO
(1) tubería de producto (fuera de escala), (2) muestra DN 15, (3) fuelle de PTFE

(d) válvula de toma de muestras, empresa Nocado

11.3.7.6 Formas constructivas de válvulas

Básicamente se distingue entre las siguientes formas constructivas de válvulas:

- la válvula mariposa,
- la válvula de globo,
- la válvula de doble asiento,
- la válvula de compuerta,
- el grifo.

Debido a sus ventajas (costo razonable, seguridad de funcionamiento), la válvula mariposa también está cada vez más difundida con diámetros nominales grandes. El mando es manual o mediante accionamiento neumático (Figura 11.23).

Las válvulas mariposa se fabrican con las siguientes conexiones: conexión roscada, brida, extremo soldado. A los efectos de montaje es práctico el montaje entre bridas. En la industria cervecera y de bebidas, las válvulas mariposa son las preferidas para agua y productos de todo tipo.

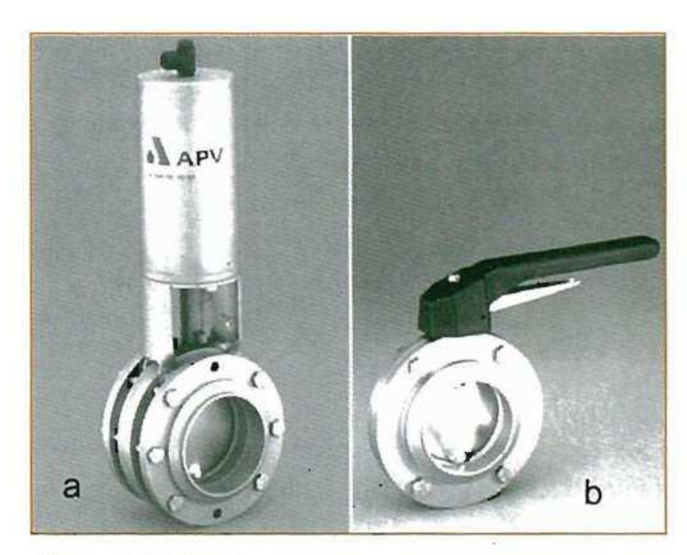


Figura 11.23 a+b
Válvulas mariposa
(a) con accionamiento neumático
(b) con accionamiento manual

La válvula de globo es la válvula clásica de cierre para casi todos los medios (Figura 11.27a). El asiento de válvula es perpendicular al husillo de válvula; el mando de la válvula ocurre mediante husillo roscado (accionado manualmente o por motorreductor) o por accionamiento neumático. El husillo de válvula es sellado mediante prensaestopas o mediante fuelle. La conexión con la cañería se realiza mediante brida atornillada o soldada, o mediante una conexión roscada.

Una forma constructiva moderna es la válvula a membrana.

La válvula de simple asiento con accionamiento neumático es utilizada para tareas sencillas en las cuales está excluida una mezcla de productos; por ejemplo: en salidas de CIP de tanques (Figura 11.24).

La válvula de doble asiento es, junto con la válvula mariposa, la válvula preferida en la industria cervecera y de bebidas. Se la utiliza preferentemente cuando debe excluirse una

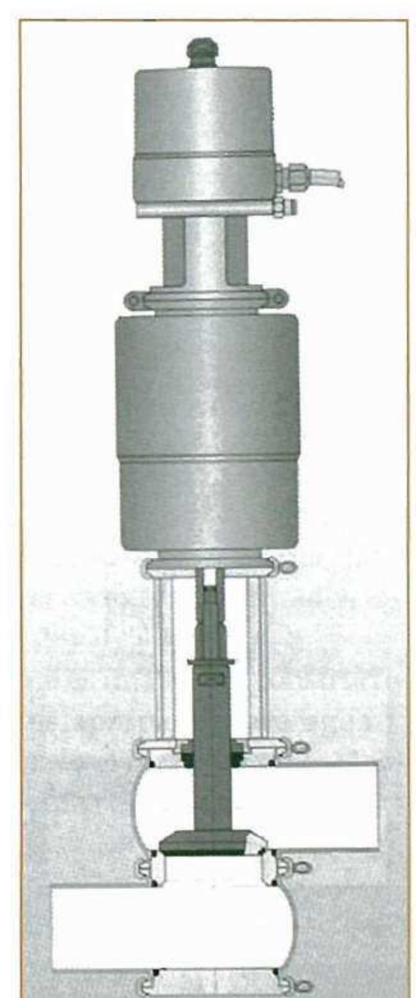


Figura 11.24
Válvula de simple asiento
(GEA Tuchenhagen)

11

mezcla de productos y cuando es necesario conectar tuberías de forma variable en un espacio muy reducido ("nudo de válvulas"). El accionamiento ocurre casi exclusivamente de forma neumática.

Las válvulas de doble asiento se fabrican como válvulas de cierre, válvulas de salida de tanque, válvulas de conexión con 2 a 4 conexiones, como válvulas de doble asiento con balancín y como válvulas de conmutación (válvula de dos vías).

Adicionalmente, las válvulas pueden ser equipadas con accionamientos de elevación, que permiten la elevación separada de ambos platillos de válvula durante la limpieza CIP (limpieza de las superficies de sello). Las válvulas de doble asiento pueden ser construidas resistentes a los golpes de ariete por medio de construcción con un "balancín" (Figura 11.25) (la presión del producto no puede abrir la válvula accidentalmente). Éste compensa las fuerzas actuantes sobre el platillo de válvula.

Las válvulas de doble asiento son una condición esencial para la construcción de plantas automáticas.

Respecto del funcionamiento de la válvula de doble asiento, ver también la Sección 4.4.2.1. En la Figura 11.26 se representa esquemáticamente el enjuagado del espacio de purga.

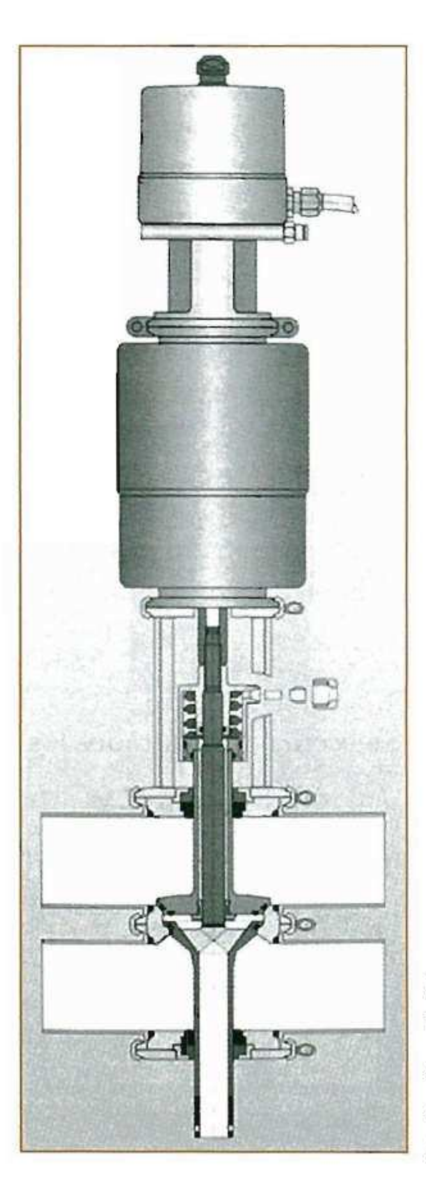


Figura 11.25 Válvula de doble asiento con balancín
(GEA Tuchenhagen)

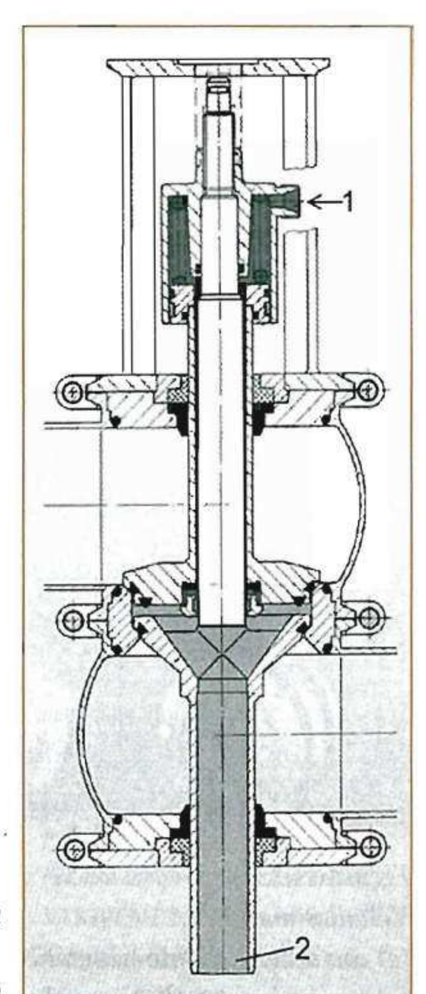


Figura 11.26 Enjuagado de espacio de purga
(1) alimentación de CIP,
(2) retorno de CIP

La válvula de compuerta (Figura 11.27b) ha sido desplazada sobre todo por la válvula mariposa. La superficie de sello es perpendi-

cular al flujo de producto. Para productos a granel (descargas de silo) y heces se usan válvulas de compuerta plana o válvulas de guillotina.

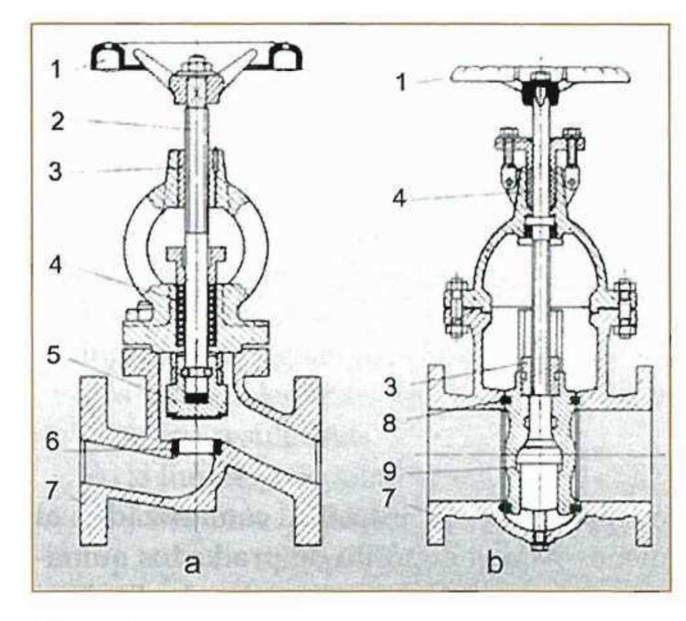


Figura 11.27
Válvula de globo (a) y válvula de compuerta (b)
(1) volante, (2) husillo de válvula, (3) rosca, (4) prensaestopas, (5) cono de válvula, (6) anillo de asiento de válvula, (7) carcasa, (8) sello de compuerta, (9) compuerta

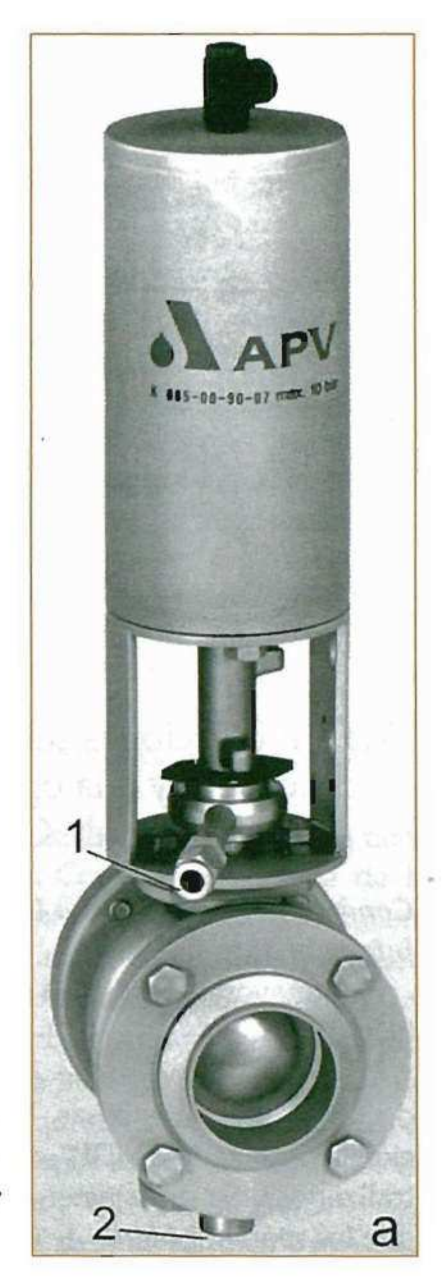


Figura 11.29
Válvula esférica (APV) con accionamiento neumático y conexión de enjuague



Figura 11.28
Grifo de macho - modelo de dos vías

El grifo de macho fue, como grifo de paso directo o grifo de varias vías, la válvula clásica en la industria cervecera hasta entrados los años 50 (Figura 11.28).

La válvula esférica es una forma constructiva moderna, que es apropiada para agua y circuitos de CIP. En las Figuras 11.29 y 11.30 se representan válvulas esféricas.

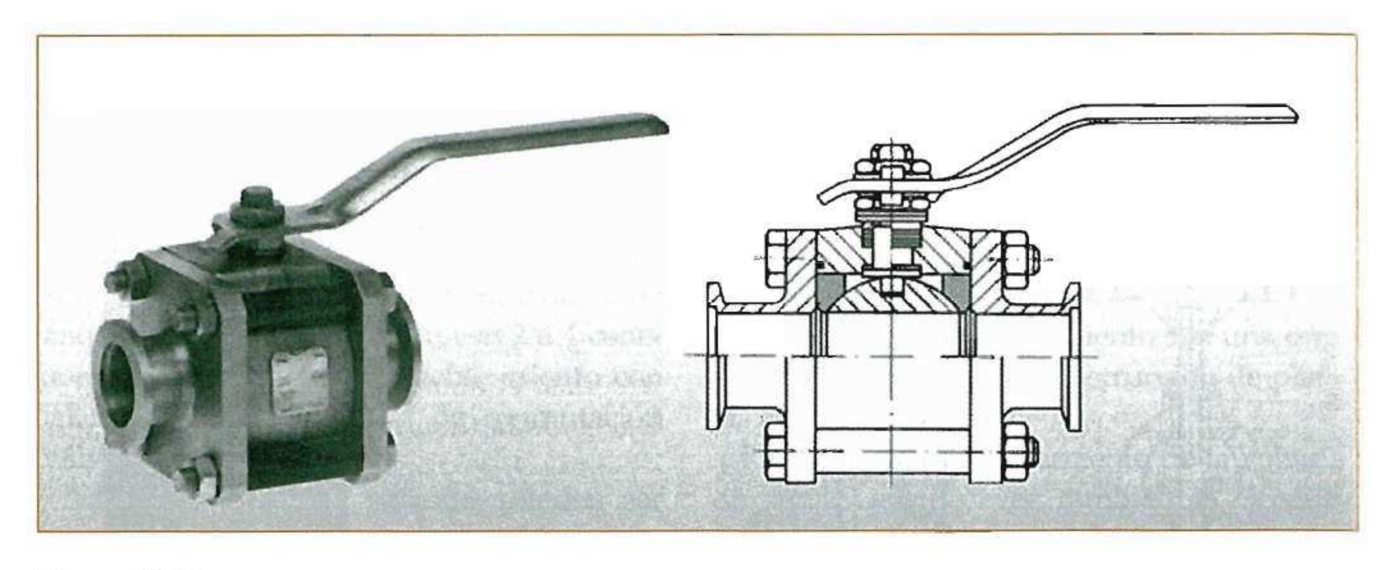


Figura 11.30
Válvula esférica para propósitos generales, con conexión clamp

11.3.8 Indicaciones referentes al diseño y a la operación de estaciones de CIP

Condiciones previas para la limpieza y desinfección automáticas

Para mayores detalles al respecto, ver también Capítulo 6.

En la planificación de la planta se debe decidir, entre otras cosas, la cuestión: "estación centralizada de CIP" o "equipos descentralizados". Se debe tener en cuenta en esto que los requerimientos de CIP de las diferentes secciones frecuentemente están determinados en lo referente al tiempo de manera que son convenientes varios equipos optimizados; por ejemplo: para las áreas de la sala de cocción incluyendo la refrigeración del mosto, de fermentación/maduración/filtración y de tanques de presión, y envasado. La asignación sólo puede ser decidida conociendo las necesidades específicas de operación (ritmo de operación, secuencia de partidas, intervalos necesarios de CIP, requerimiento de tiempo por programa de CIP y eventuales tiempos de preparación (purga de tanques cilindrocónicos), longitudes de tuberías, etc.).

Desde el punto de vista de las inversiones es preferible la estación centralizada, al menos para el depósito de productos químicos. Como cuestiones esenciales de diseño o bien requerimientos para una estación de CIP, que deben ser aclarados en la fase de planificación, se mencionan:

- el número de tanques de acumulación y su especificación (limpieza interior por medio de cabezal rociador, aislación térmica, geometría de recipiente, volumen bruto y neto), reboses, aireación y purga de aire, extracción de vahos con descarga de condensados,
- la decisión por limpieza en caliente o en frío, limpieza por acumulación o limpieza por monouso del agente de limpieza, limpieza alcalina o limpieza ácida, limpieza y desinfección combinadas o por separado,
- instalación del intercambiador de calor para el calentamiento por flujo principal o por flujo en derivación,
- la preparación o el refuerzo de los medios de CIP,
- la conexión manual de las alimentaciones y retornos de CIP mediante la técnica de paneles o tubería fija, y automatización,
- control manual del programa de CIP o utilización de un PLC,

- el gasto de medición, control y regulación,
- operación de las bombas de alimentación y de retorno a través de convertidores de frecuencia, dado el caso, reguladas en el caudal, o solamente utilización de un arranque suave,
- el caudal necesario para las diferentes aplicaciones,
- la atención a las pérdidas de presión en tuberías y aparatos. Se debe optimizar en particular las salidas de los tanques de acumulación y las tuberías de aspiración de las bombas para evitar la cavitación,
- ingresos de aguas residuales dimensionados adecuadamente, según el caudal de descarga resultante.

En la limpieza de tuberías se puede utilizar ventajosamente la limpieza por acumulación, sobre todo en sistemas de tuberías largos. La limpieza "por monouso del agente de limpieza" está en ventaja en la limpieza de tanques, en particular si sólo se puede limpiar en frío. Se debe tratar de tener el equipamiento para ambas variantes de limpieza para aprovechar las ventajas de ambos sistemas.

El volumen neto de los recipientes de acumulación de CIP debería ser minimizado por principio a los efectos de reducir los costos de calor, productos químicos y agua.

La limpieza CIP de tanques siempre representa un circuito abierto que requiere un transporte de retorno de los medios. Si la estación de CIP puede ser instalada en un nivel más bajo que los equipos a ser limpiados, es posible prescindir de la bomba de retorno debido a la utilización del transporte por gravedad.

Debe prestarse especial atención a la prevención o minimización de la mezcla de medios cuando se hace el cambio de medios dentro de los programas de CIP de la limpieza de tanques. La regla debe ser:

- desplazar primero el medio "viejo" del tanque,
- luego extraer del tanque el resto del medio "viejo" y
- recién después, bombear el medio "nuevo".

El transporte por gravedad mencionado antes se puede utilizar bien para esta problemática. Los pasos de enjuague intermedio pueden ser relativamente cortos para ahorrar agua, sobre todo en la limpieza de tuberías: el agua de enjuague es enviada a través de la tubería sólo en forma de tapón de agua. El mezclado en la tubería es muy reducido aun cuando, por ejemplo, se encuentran integrados intercambiadores de calor. Los medios pueden ser separados luego al final de la tubería.

También el desplazamiento de un medio mediante gas de contrapresión puede ser una variante para la reducción de los consumos de medios.

La limpieza en caliente de los equipos tiene muchas ventajas. Como consecuencia de la menor tensión superficial de los fluidos calientes, se mejora la humectabilidad de las superficies; el efecto de limpieza aumenta y los medios llegan también a ranuras; por ejemplo: a las ranuras entre placa de intercambiador de calor y junta, a las juntas en las conexiones roscadas o las conexiones bridadas, a los sellos de válvulas mariposa y válvulas de globo.

Sobre todo en el caso de ranuras y espacios muertos, la reducción térmica del número de gérmenes o bien la destrucción térmica es la única posibilidad de desinfección, especialmente teniendo en cuenta que los agentes de desinfección tensioactivos sufren el problema de la eliminación total de éstos por enjuague (problemática de residuos), aparte del problema de la humectabilidad completa.

En relación con esto se debe llamar la atención sobre las ventajas de la desinfección con agua caliente acidulada ($\delta \geq 90$ °C, valor pH $\leq$ 4 para evitar la precipitación de carbonatos). La tubería de retorno de CIP debería ser tendida de manera tal que no pueda escapar el CO_2. Por medio de esta condición previa está

dada, por ejemplo, la posibilidad de despresurizar tanques cilindrocónicos y desplazar eventuales residuos a través de la tubuladura del cono y la tubería de retorno de CIP, y sobre todo extraer CO_2.

11.3.9 Indicaciones referentes al depósito de productos químicos

Las salas, y en particular los pisos, así como los tanques de acumulación del depósito de productos químicos deben cumplir en Alemania con las reglamentaciones de la Ley de Administración de Aguas (WHG) o deben estar homologados. Lo mismo rige para los puntos de recepción de productos en tanque.

11

En muchos casos, los tanques de acumulación y los contenedores suministrados (paletas tanque, barriles, bidones) deben ser colocados o depositados en piletas. Éstas deben ser tan grandes que puedan recibir como mínimo el contenido del contenedor más grande en el caso de avería. En vez de colocación en piletas, es posible emplear también tanques de pared doble. El recipiente protector se encuentra sin presión y debería disponer de un dispositivo de aviso de pérdidas. Debe excluirse una posible mezcla, con la correspondiente reacción, por parte de los productos químicos involucrados; si es necesario, se debe construir salas o piletas colectoras separadas (ejemplo: el depósito por separado de componentes para la producción de dióxido de cloro: hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico).

Las entradas de agua deben conducir a las aguas residuales de producción y no deben tener conexión alguna con canaletas acumuladoras de agua de lluvia.

Los costos de los productos químicos pueden ser reducidos en parte considerablemente si se adquieren cantidades mayores, preferentemente por camión tanque (descuentos por cantidad; los productos a granel son más económicos). Esto es interesante, sobre todo para empresas de mayor tamaño.

Los tanques de acumulación deben ser tan grandes que se pueda vaciar en éstos una cámara de camión tanque (los camiones tanque no deben circular con cámaras parcialmente vacías). Los tanques de acumulación deben disponer, por supuesto, de un seguro contra rebose; el tubo de llenado debería poseer una salida libre y vaciarse por sí mismo.

Las válvulas de recepción tendrían que ser a prueba de confusiones. El lugar de recepción debe estar construido como pileta resistente a los ácidos, con pendiente y con entrada a las aguas residuales de producción. La operación invernal debe estar garantizada. En el caso de la recepción de soda cáustica concentrada, la concentración se debería reducir con agua a aproximadamente 25% (tanque con agitador o mezcla con cantidades proporcionales) a los efectos de evitar una cristalización por enfriamiento. Los depósitos de productos químicos deben disponer de aireación y se los debe construir resistentes a la corrosión.

El balance de cantidades de los consumos y el registro de las cantidades suministradas se realizan con la técnica existente de medición, control y regulación; en el caso de productos a granel es conveniente el pesaje.

Las tuberías para el transporte de productos químicos deben cumplir con las reglas de protección laboral y de salud. Dado el caso, deben ser construidas con protección contra salpicaduras, con canaleta de goteo o con pared doble. Se debe tratar de que las tuberías tengan siempre salida libre a los tanques para evitar un establecimiento de presión. Las válvulas de cierre eventualmente existentes deben ser aseguradas contra cierres accidentales.

11.3.10 Indicaciones referentes a la calidad de las superficies de máquinas y aparatos

Las superficies en contacto con productos deben ser en lo posible lisas, libres de poros y

resistentes a la corrosión a fin de facilitar la limpieza y la desinfección según el proceso CIP, pero también para la limpieza manual.

Los aceros inoxidables, laminados en frío, cumplen en parte estas exigencias. En el caso de requerimientos especiales, estos materiales deben ser sometidos a esmerilado y pulido para cambiar la rugosidad de su superficie.

La rugosidad media aritmética de las superficies en contacto con productos debería ser $R_a \leq 1{,}6$ mm; son preferibles valores $\leq 0{,}8$ mm (ver al respecto Sección 4.4.1).

Los tubos sin costura, de acero inoxidable, son fabricados con rugosidades medias aritméticas $R_a \leq 2{,}5$ mm y $\leq 1{,}6$ mm; los tubos con costura son fabricados con rugosidades medias aritméticas $R_a \leq 1{,}6$ mm y $\leq 0{,}8$ mm.

Por diferentes motivos no es conveniente poner mayores exigencias, en lo que respecta a la calidad superficial de elementos de equipamiento individuales, que aquellas que pueda cumplir el "eslabón más débil de la cadena", salvo que estas exigencias puedan ser justificadas con otros argumentos (por ejemplo: la superficie del cono en los tanques cilindrocónicos para una mejor extracción de los fondos de tanque). Los parámetros de CIP deben ser adecuados, de todos modos, a las rugosidades máximas existentes.

La calidad superficial de las costuras de soldadura debería estar en correspondencia con la de los materiales; están permitidas pequeñas diferencias. Se debería tener en cuenta también que los costos de los materiales y de su procesamiento son influenciados considerablemente por las exigencias en lo que respecta a la rugosidad de éstos. Es por ello que también debería valer aquí: "¡Sólo tanto como sea necesario!". Alternativamente existe casi siempre la posibilidad de mantener acotadas las exigencias en lo que respecta a la rugosidad a través del establecimiento correspondiente de los parámetros de CIP. Por supuesto que las superficies externas también deben ser consideradas desde los puntos de vista de limpieza y desinfección, comportamiento ante la corrosión, enjuagabilidad (influencias de chorros de agua).

Las superficies planas y lisas, libres de ranuras, son una condición esencial para ello. Los líquidos deben escurrir sin formación de charcos. Las transiciones de material o ranuras de montaje deberían evitarse; se debe dar preferencia a la soldadura por todos lados.

Por principio debe darse preferencia a los perfiles llenos, tubulares o huecos rectangulares; deben ser cerrados en ambos extremos, preferentemente por soldadura. Los perfiles abiertos (perfiles angulares, en U, doble T) no deberían utilizarse. Las conexiones por apriete ranuradas y los tornillos de cabeza con hexágono interior deberían ser evitados. Los extremos de tornillo deberían ser terminados con tuercas de sombrerete. No están permitidos los orificios abiertos, las uniones atornilladas o abulonadas, así como tampoco las soldaduras por punto y los bordes plegados y abiertos. Las uniones de chapa de los revestimientos de la aislación térmica deben ser realizadas de manera tal que sean estancas. La superficie de los revestimientos de chapa y materiales delgados debería estar estructurada de manera tal que los deterioros mecánicos (rayaduras, abolladuras, etc.) sean poco llamativos. Las superficies pulidas y con esmerilado mate son muy sensibles, en tanto que las superficies esmeriladas circularmente y las superficies granalladas (granallado de perlas de vidrio) son relativamente insensibles.

Administración y logística



- Aplicaciones de RFID (Investigación y asesoramiento)
- Seguridad de carga (Investigación y asesoramiento)
- Sistemas de paletas: Estudios para paletas de plástico
- Medición de rendimiento de equipos clasificadores de envases vacíos
- Investigación por encargo: logística de bebidas
- Estudios para el controlling de bebidas, el personal y la logística
- Tratamiento de temas de logística en cooperación con empresas
- Puente entre las Ciencias de la Ingeniería y las Ciencias Económicas.







Instituto de investigación de administración y logística de bebidas

Norbert Heyer
Tel.: ++49 (30) 450 80-239
heyer@vlb-berlin.org
www.vlb-berlin.org

Instituto Cervecero de Investigación y Enseñanza en Berlín (VLB)
Nuestros laboratorios están acreditados según la norma internacional DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Información y transferencia de conocimientos



Publicaciones

- Libros técnicos, Revista especializada „Brauerei Forum"
- Newsletter por e-mail, Homepage

Eventos

- Jornadas de Trabajo Internacionales sobre Cervecería e Ingeniería (alemán/inglés)
- Congreso Internacional de Octubre (alemán/inglés)
- Seminario Internacional sobre Cebada Cervecera
- Foro Industria y Comercio de Bebidas
- Congreso Especializado de Logística
- Jornadas sobre Embalaje de Bebidas
- Jornadas sobre Tecnología de la Información









Departamento de Relaciones Públicas y Editorial Redacción „Brauerei Forum"

Olaf Hendel
Tel.: ++49 (30) 450 80-255
hendel@vlb-berlin.org
www.vlb-berlin.org

Instituto Cervecero de Investigación y Enseñanza en Berlín (VLB)
Nuestros laboratorios están acreditados según la norma internacional DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Lista de abreviaciones utilizadas

ADP	adenosin difosfato
AOX	compuestos orgánicos halogenados absorbibles
ATP	adenosin trifosfato
BSB_5 / DBO	demanda bioquímica de oxígeno
CIP	cleaning in place (limpieza in situ)
CSB / COD	demanda química de oxígeno
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán para Normalización)
DMS	sulfuro de dimetilo
DMS-P	sulfuro de dimetilo precursor
DON	desoxinivalenol
EPDM	etileno propileno dieno monómero
FAN	aminonitrógeno libre
LOX	lipooxigenasa
NBR	caucho de nitrilo butadieno
NIR	Near Infrared Spectroscopy (espectroscopía de infrarrojo cercano)
NOX	gases ricos en óxidos de nitrógeno
NPSH	net positive suction head (presión neta de aspiración positiva)
PCR	polymerase chain reaction
PEN	polietilennaftalato
PET	polietilentereftalato
P&ID	diagrama de tuberías e instrumentos
PLC	control lógico programable
ppb	partes por mil millones (µg/kg o µg/l)
ppm	partes por millón (mg/kg o mg/l)
PTFE	politetrafluoretileno
PVPP	polivinilpolipirrolidona
R&C	ensayo de espuma según el método de Ross y Clark
SMM	S-metilmetionina
TBZ	coeficiente de ácido tiobarbitúrico
TFCC	tanque de fermentación cilindrocónico
UP	unidad de pasteurización
ZEA	zearalenona

Conversión de unidades de medida definidas legalmente y utilizadas comúnmente

La mayoría de los países utiliza el sistema métrico de unidades. Consecuentemente, en el libro se utilizan las unidades del Sistema Internacional (SI) al referirse a signos numéricos. Las unidades inglesas alternativas que son de uso común en general se indican entre paréntesis.
Si no está expresado de otra manera, los valores usados son:
- tonelada métrica (o tonelada) = 1.000 kg y
- barril de cerveza = US bbl = 117,3 litros

Longitud

1m = 3,2808 ft = 1,0936 yd = 39,37 in
1cm = 0,39 in
1 ft = 12 in = 30,48 cm 1 in = 2,54 cm
1 yard = 3 ft = 0,9144m

Área

1m² = 100 dm² = 10,000 cm²

	m²	sq in	sq ft	sq yd
1 m²	1	1,550	10,76	1,195
1 sq ft	0,092	144	1	0,111
1 sq yd	0,836	1,296	9	1

Volumen

1 m³ = 10 hl = 1,000 l = 1,31 cu yd
1 hl = 100 l = 3,53 cu ft
1 l = 61,02 cu in
1 m³ = 35,314 cu ft
1 cu ft = 1,728 cu in = 28,3 l
1 cu yd = 0,764555 m³ = 764,555 l

Capacidades US

	Medida US líquida	seca
1 US bushel bu (4 peck)		35,238 l
1 US peck pk (8 quarts)		8,809 l
1 US gallon gal (4 quarts)	3,785 l	
1 US quart qt (2 pints)	0,946 l	1,101 l
1 US pint pt (4 gills)	0,473 l	0,550 l
0,5 US pint (2 gills)	0,.237 l	
1 US gill gi (4 fl oz)	118,291 ml	
1 US fluid ounce fl oz	*29,573 ml =128 oz/gal*	
1 US fluidram fl dr		3,696 ml
1 US minim mi		0,0616 ml

Capacidades UK

		Medidas inglesas imperiales líquidas y secas
1 imp bushel	bu (4 pecks)	36,36871
1 imp peck	pk (2 gallons)	9,0922 l
1 imp gallon	gal (4quart)	4,5461 l
1 imp quart	qt (2 pints)	1,1366 l
1 imp pint	pt (4 gills)	0,5683 l
0,5 imp pint	(2 gills)	0,2841 l
1 imp gill	gi (5 fluidounces)	142.066 ml
1 imp fluid ounce	*fl oz*	*28.416 ml = 160 oz / gal*
1 imp fluidram	fl dr	3,552 ml
1 imp minim mi		0,059 ml

Barril de cerveza (bbl)

1 US bbl = 31 US gallons = 117,348 l = 1,173 hl
1 hl = 0,85217 US bbl
1US bbl = 25,8129 imp. gallons = 0,717 UK bbl
1 US gal / cu ft = 0,13368 l/l
1 US gal / min = 0,227m³/h = 0,063 l/s
1 Us gal / ton = 4,173 l/t
1 US grain / gal = 0,0171 g/l
1 US pound (Av)/ gal = 119,83 G/l

Barril de cerveza (bbl)

1 UK bbl = 36 UK gallons = 163,659 l = 1,636 hl
1 hl = 0,61103 UK bbl
1UK bbl = 43,2342 US gallons = 1,394 US bbl
1 kg/hl = 2,5870 lb/US bbl = 3,6080 lb /UK bbl

Peso

1 kg	*= 2,20462 lb = 0,0787 qt*	*1 ton corta*	*= 907,185 kg = 2,000 lb*
1 lb	*= 453,59237 g*	*1 Ztr*	*= 50 kg = 110,231 lb*
1 ton métrica	*= 1,000 kg*	*1 dz (dt)*	*= 2 Ztr = 100 kg = 220,462 lb*
1 ton larga	*= 1,016.05 kg*		

	kg	Ztr	dz (dt)	ton métrica
1 kg	1	0,02	0,01	0,001
1 lb	0,454	0,009	0,0045	0,00045
1 ton corta	907,18	18,14	9,07	0,907
1 ton larga	1.016	20,32	10,16	1,016
1 ton métrica	1.000	20	10	1
1 dz (dt)	100	2	1	0,1

1 Grain (1 gr)	= 0,0648 g	1 g/kg	= 7,0 grain lb
1 drams (1 dr)	= 1,7718 g	1 g/m³	= 0,437 grain/cu ft
1 onza (1 Oz)	= 28,3495 g =16 dr	1 lb/cu ft	= 16,0185 kg/m³
1 libra (1 lb)	= 453,.559237 g = 16 Oz = 256 dr	1 gr/lb	= 0,1426 g/kg
		1 ton/sq mile	= 0,3503 g/m²
		1 gr/cu ft	= 2,2884 g/m³

Potencia

1 kp · m/s	= 9,81 W	1 BTU/h	= 0,29307 W
1 kcal/s	= 4,19 kW	1 hp Caballo de fuerza (UK)	= 0,745700 kW
1 Kcal/h	= 1,16 W	1 HP Caballo de fuerza (metr)	= 0,735499 kW
1 kW	*= 1,36 PS (HP metr)*		
1 PS	*= 0,735kW*		
1 Watt	*= 3,41212 BTU/h*		
1 kW	*= 3.412,13 BTU/h*		

	kW	MW	HP (metr)	hp	kcal/h	BTU/h
1 kW	1	0,001	1,3596	1,34	859,845	3,412
1 MW	1.000	1	1.359,6	1,341	-	3412.142
HP metr	0,735	-	1	0,986	632,415	2,509
hp	0,746	-	1,01	1	641,186	2,544

Trabajo, energía

1J = 1 N · m = 1Ws
1Wh = 3,6 kWs = 3,6 kJ
1 kWh = 3,6 MJ = 860 kcal
1 kcal = 4,19 kJ

1 BTU = 1.055 KJ = 0,293072 Wh = 252,165 calorías $_{TH}$
1 kJ = 0,995 BTU
BTU = British Thermal Units

	kJ	kWh	kcal	BTU
1 MJ	1000	0.278	239	948
1 kWh	3600	1	860	3,412
1 kcal	4,19	0,001	1	3,968
1 BTU	1,055	0,00029	0,252	1

Fuerza

1 Pa = 1 N / m² = 0,0209lb / ft²
1 bar = 0,1 Mpa = 1kg / m² = 1 at = 10 m columna de agua
0,1 bar = 0,1 at = 1 m WS = 0,1 kg/cm²
1 lb / in² (psi) = 6895 N / in² = 68,95 mbar
1 lb / ft² = 47,88 N / m² = 0,4588 mbar

Refrigeración

1 ton refrigeración = 3,51685 kW
1 kW = 0,2843 ton refrig.
= 228,000 BTU / día
= 12,000 BTU / h

1 ton refrig. = 4,71617 HP
= 2,009.1 lb de hielo derretido por día
= 37,971 kg de hielo derretido por hora

Prefijos para unidades métricas (múltiplos y fracciones de unidades)

10^{12}	Tera	T	10^{-1}	Deci	d
10^{9}	Giga	G	10^{-2}	Centi	c
10^{6}	Mega	M	10^{-3}	Mili	m
10^{3}	Kilo	k	10^{-6}	Micro	µ
10^{2}	Hecto	h	10^{-9}	Nano	n
10	Deca	da	10^{-12}	Pico	p

Lista de anunciantes

Referencias a los diagramas y documentos utilizados

Deseo agradecer a las siguientes empresas proveedoras y de ingeniería por el cuantioso material que ha sido puesto a mi disposición para la versión española de este libro. Sin embargo, de la gran cantidad de material sólo ha sido posible utilizar una pequeña porción. En la selección de los modelos utilizados para diagramas siempre se ha dado preferencia a aquellas ilustraciones que eran las más adecuadas para estimular el proceso de comprensión. Aparte de ello, a los efectos de una ilustración más clara, muchos diagramas han sido modificados, simplificados y la secuencia de flujo de materiales ha sido clarificada mediante la utilización de un segundo color. Aquellos diagramas que han quedado preponderantemente sin modificaciones son listados más abajo, junto a las respectivas empresas, con su numeración de figura correspondiente; se hace referencia in situ a los autores de las fotografías.

Particularmente estoy agradecido a todos los empleados que han contribuido personalmente ayudándome a satisfacer mis frecuentes requerimientos no justamente modestos en lo que respecta al diseño gráfico del libro.

Los documentos listados aquí han sido puestos a mi disposición por las empresas listadas más abajo. Numerosas empresas listadas ya no existen entretanto, han sido integradas en otras empresas u operan ahora bajo un nombre diferente.

Alcoa, CSI Europe, Worms (5.62; 5.64)
Alfa Laval GmbH, Glinde (4.110; 10.42)
Alltec GmbH & Co. KG, Lübeck
Amcor PET Packaging Deutschland GmbH, Mendig
Apparatebau Nordhausen GmbH (8.1)
APV Rosista GmbH, Unna-Königsborn (4.108; 4.109)
Atlas Copco Kompressoren GmbH, Essen (10.47; 10.48; 10.49; 10.50; 10.52; 10.53; 10.54)
Bactria GmbH & Co. KG, Kirchheimbolanden
BAM Apparate- und Maschinenbau GmbH (Freising) (3.89d)
Barth, Joh. & Sohn, Hopfen und Hopfenprodukte, Nürnberg (1.12; 1.13a)
Beca Prozeßanlagen GmbH, Neuwied
Begerow, E., GmbH & Co., Filtertechnik, Langenlonsheim
Beraplan Härter GmbH, München (3.89b; 8.1; 8.3; 8.4)
Bier-Drive Kellertanksysteme GmbH, Massenbachhausen
Blefa GmbH & Co.KG, Kreuztal
Brigl & Bergmeister Papierfabrik GmbH, Niklasdorf
BTE Brauereitechnik Essen GmbH (3.34a; 8.2; 8.5; 8.6)
Bühler GmbH, Braunschweig (2.2; 2.6; 2.7; 2.9; 2.10, 2.11; 2.17; 2.28; 2.31; 2.32; 2.41; 2.43; 2.44; 2.50; 2.50a; 2.52; 2.52a; 2.52b; 2.59; 2.60; 2.61; 3.5; 3.7; 3.13; 3.14; 3.15; 3.21)
Butting GmbH, Wittingen-Knesebeck
Carl, Jakob, GmbH, Göppingen (2.22)
CC Kontrollanlagen GmbH, Freudenberg
Centec GmbH, Bruchköbel
Cool-System Bev. GmbH, Fürth
CPM, Carl Prandtl GmbH, München
Crown Bender GmbH, Frankenthal (5.63)

Danbrew Ltd. A/S, Frederiksburg C/DK
Diessel GmbH & Co., Hildesheim
Diversey GmbH, Wiesbaden (6.2)
Ecolab GmbH % Co.KG, Düsseldorf
Endress + Hauser Meßtechnik GmbH + Co., Weil am Rhein
Esau & Hueber, Schrobenhausen-Steingriff (3.114; 4.8; 4.17; 4.25)
Euwa, H. H. Eumann GmbH, Gärtringen (1.20; 1.21)
Feichtenschlager GmbH, Industrieanlagen, Neusäß
Filtec Inspektions-Systeme, Hamburg
Filter- und Verfahrenstechnik, Karlsruhe (2.33; 2.33a)
Filtrox-Werk AG, St.Gallen/Schweiz (4.73; 4.76; 4.78; 4.79; 4.80; 4.82a; 4.96)
Fischer & Porter, GmbH, Göttingen
Fischer, Ernst P. Apparatebau GmbH, Erbreichsdorf
Flexon GmbH, Wilnsdorf (5.97)
Fristam Pumpen F. Stamp KG (GmbH & Co.), Hamburg (10.29; 10.31; 10.34; 10.38)
Fromm, Mayer-Bass GmbH, Handelsgesellschaft OHG, München
GEA Ahlborn GmbH, Sarstedt/Hannover
GEA Finnah GmbH, Ahaus
GEA Till GmbH & Co., Kriftel
GEA Tuchenhagen, Otto, GmbH & Co. KG, Büchen (3.115; 4.31; 4.32; 4.33; 4.34; 4.35; 4.37; 4.38; 4.39)
GEA Wiegand GmbH, Ettlingen
Grässle advanced technologies; Pfinztal-Berghausen (5.57; 5.58)
Haffmans B.V., Venlo/Niederlande (4.98)
Hafner, Kälte + Klimatechnik, Balingen (10.19)
Hager + Elsässer GmbH, Stuttgart
Hallertauer Hopfenveredelungsgesellschaft mbH, Mainburg
Handtmann, Albert, Armaturenfabrik GmbH & Co. KG, Biberach-Riss (4.24; 4.30; 4.36; 4.89; 4.89a)
Hauner, Benno, Maschinenfabrik Diespeck (2.55a; 2.55b)
Henkel Hygiene GmbH, Düsseldorf
Heuft Systemtechnik GmbH, Burgbröhl (5.38a)
Hidrostal Pumpenbau, Wiehl-Bielstein (10.34a)
Hilge, Philipp, GmbH, Bodenheim/Rhein (3.36; 3.36a; 4.26)
Hoesch & Söhne, Eberhard GmbH, Düren (9.6)
Holvrieka Ido B.V., Emmen NL
Horst Company GmbH & Co. KG, Mainburg
Huppmann, Hrch., GmbH, Maschinenfabrik, Kitzingen (3.19; 3.20; 3.32; 3.33b; 3.37; 3.37a; 3.48; 3.49; 3.50; 3.51; 3.52; 3.53; 3.53a; 3.68a; 3.73; 3.75; 3.75d; 3.75e; 3.84; 3.86; 3.97; 3.117; 4.47a; 4.56; 10.24)
Ingold Meßtechnik GmbH, Steinbach/Taunus
Inoxpa Stork Pumpen GmbH, Bad Oeynhausen (10.39)
INPE, Industrieanlagen, München (3.89c)

Intralox Inc. Europe, Amsterdam (5.98)
Joha - Hartenstein KG, Johannes Arno, Hof
Johnson Pumpen GmbH, Herford
JohnsonDiversey Deutschland GmbH & Co.OHG, Mannheim
Kaeser Kompressoren GmbH, Coburg
Katadyn Produkte AG, Wallisellen/Schweiz (1.21a)
Keggy drink systems GmbH, Neunkirchen/Siegerland (5.95)
KHS Maschinen- und Anlagenbau AG, Dortmund: 4.92; 5.5; 5.6; 5.8; 5.10; 5.12; 5.20; 5.23; 5.24; 5.25; 5.29; 5.33; 5.37; 5.39; 5.40; 5.42; 5.43; 5.43a; 5.48; 5.50; 5.53; 5.54; 5.55; 5,56; 5.61; 5.67; 5.72; 5.78; 5.79; 5.81; 5.108; 5.113
Kieselmann GmbH, Knittlingen (4.24; 4.30; 4.36)
Krones AG, Hermann Kronseder Maschinenfabrik, Neutraubling: 5.2; 5.2a; 5.3; 5.4; 5.7; 5.11. 5.14; 5.15; 5.16; 5.18; 5.19; 5.22; 5.22a; 5.26; 5.27; 5.28; 5.49; 5.59; 5.60; 5.65; 5.73; 5.74; 5.75; 5.76; 5.77; 5.82; 5.86; 5.94; 5.96; 5.99; 5.100; 5.101; 5.102; 5.103; 5.104; 5.105; 5.106; 5.107; 5.110; 5.111; 5.112
Künzel, Wilhelm, Maschinenfabrik, Mainleus (3.81)
Landaluce,S.A., Torrelavega/E (3.65; 3.65a; 3.65b)
Laporte ESD, Ladenburg
Lausmann, Gebr., KG, Regensburg (2.55)
Loos, Th., Dampfkesselsysteme GmbH, Gunzenhausen (10.2; 10.3)
MCK Maschinenbau GmbH & Co. KG, Köln
Mehrer, Josef, Maschinenfabrik, GmbH & Co., Balingen (10.46)
Mettler-Toledo GmbH, Prozeßanalytik, Steinbach
Meura S.A., Tournai/Belgien (3.63; 3.63b)
Micro Matic GmbH, Gräfelfing (5.91; 5.92; 5.93)
Monitek GmbH, Düsseldorf
Nerb, Hans, GmbH & Co. KG, Freising (3.29a)
Novo Nordisk A/S, Bagsvaerd/DK
Nordon & Cie, Nancy Cedex; Frankreich
Norit Process Technology B.V., Enschede/NL
Optec-Danuta GmbH, Essen
Orbisphere GmbH, Gießen
Paar, Anton, Graz/A (7.3a; 7.3b; 7.5)
Pall Filtrationstechnik, Dreieich (4.87; 4.87a)
Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Waldstetten
Physica Meßtechnik GmbH, Stuttgart (3.28)
Ponndorf Maschinenfabrik GmbH, Kassel (3.66; 3.67)
Pühler, Karl, jr., KG, Bergneustadt
Rehmann Process Engineering GmbH, Freiburg
Sabroe Industriekälte GmbH, Flensburg (10.11; 10.13)
Sartorius AG, Göttingen (4.88; 10.55)
Scandi-Brew A/S, Soeborg/Dänemark (4.7)
Schenk Filterbau GmbH, Waldstetten (4.54; 4.64; 4.81; 4.82; 4.90a; 4.90b)

Schmalbach-Lubeka AG, Braunschweig (5.69; 5.70; 5.71; 5.80)
Schmidt-Bretten GmbH, Bretten
Schmidt, Gebrüder, AG, Beilngries (2.18)
Schott Engineering, Mainz (4.57; 4.58)
Schulz, Kaspar, Brauereimaschinenfabrik, Bamberg (8.1)
Seeger GmbH, Plüderhausen (2.42; 2.51; 2.51a)
Seitz-Filter-Werke GmbH & Co., Bad Kreuznach (4.83; 4.84; 4.85; 4.86; 4.91)
Sensor-Technik Wiedemann GmbH, Kaufbeuren
Sidel GmbH, Viernheim
Simonazzi Germany GmbH, Hamburg
Stabifix Brauerei-Technik GmbH & Co. OHG, Gräfelfing
Standardkessel, Duisburg (10.4)
Steinecker, Anton, Maschinenfabrik GmbH, Freising (3.18; 3.54a; 3.75c; 3.85d; 3.85k - p; 3.98)
Steiner, Simon H., Hopfen GmbH, Mainburg (1.13a; 1.14a)
Steinfurth Mess-Systeme GmbH, Essen
Stora Papyrus Deutschland GmbH, Düsseldorf
Südmo Schleicher AG, Riesbürg
Sulzer Escher-Wyss GmbH, Kältetechnik, Lindau/Bodensee (2.35)
Sulzer, Verfahrens- und Kältetechnik, Winterthur/CH (3.115a)
Thiedig, Dr. + Co, Berlin (7.7)
Töpfer Kulmbach GmbH, Kulmbach
Videojet Systems international., Inc. Wood Dale, IL USA (5.87)
Weissheimer, Friedrich, Malzfabrik, Andernach (1.0; 2.43b)
Westfalia-Separator AG, Oelde (3.106; 4.55; 4.97a)
Wiesner Anlagenbau GmbH, Bayreuth (2.57a)
Wigol W. Stache GmbH, Worms
Witt Kältemaschinenfabrik, Aachen (10.10; 10.16; 10.18; 10.20)
Zeppelin-Metallwerke GmbH, Achim bei Bremen (10.6)
Ziemann + Bauer GmbH, Tank- und Apparatebau, Bürgstadt/Main (4.28; 4.29; 4.42a)
Ziemann - Hengel S.A., Sarre-Union, Frankreich
Ziemann, A., GmbH, Ludwigsburg (3.48a; 3.65b; 3.65c; 3.74; 3.74a; 4.47)
Centrale Marketingges. der deutschen Agrarwirtschaft (CMA) (1.11a; 1.11b)
sowie die Übernahme folgender Zeichnungen aus Arthur W. Rohner, Maschinenkunde für Müller,
Verlag Schweizerische Berufsbildungskommission für Müller (1.12; 2.3; 2.4; 2.21; 2.36; 3.2; 3.4; 3.10; 3.11; 3.12)

Referencias bibliográficas

En el texto, los números entre corchetes, [], indican referencias bibliográficas, mayormente en alemán, que el lector puede consultar para información más detallada. Los números remiten a:

[1] SCHULTZE-BERNDT, H.-G.: persönl. Mittlg.
[2] Wochenschrift für Brauerei (1893) S.79
[3] KRAUSS, COOK und VERZELE: Mon. f. Brauerei 22 (1969), S.209
[4] Hopfenrundschau Aug. 1992, S.50
[5] HACKEL-STEHR, K.: Diss. TU Berlin 1987
[6] FORSTER, A.: Hopfenrundschau Aug. 1992, S.41
[7] NARZISS, L.: Brwlt 23 (1992), S.1072
[8] BERDELLE-HILGE, PH.: Brwlt 38 (1992), S.1759
[9] NARZISS, L.: Brwlt 37 (1992), S.1696
[10] WAGNER, I., ESSER, K. D., KRÜGER, E.: MfBrauwi 41 (1988), S.384
[11] HERRMANN, H.: Brwlt 28 (1991), S.1227
[12] WACKERBAUER, K., EVERS, H., ZUFALL, C., HÖLSCHER, K.: Brwlt 41 (1992), S.1922
[13] KOLLNBERGER, P.: DBMB 5/1984, S.186
[14] KOLLNBERGER, P.: Brwlt 7 (1987), S.254
[15] KIENINGER, H.: Brwlt 76 (1977), S.1714
[16] NARZISS, L., MIEDANER, H., KÜSTNER, M.: Brwlt 106 (1966), S.394-404
[17] WACKERBAUER, K., ZUFALL, C., HÖLSCHER, K.: Brwlt 29 (1992), S.1366
[18] MICHEL, R.: Brwlt 24/25 (1992), S.1133-1140
[19] WEINFURTNER, F., WULLINGER, F., PIENDL, A.: Brwlt 106 (1966), S.405
[20] DENK, V., und MÜLLER, H.: Brwlt 15/16 (1990), S.568-576; DENK. V.: Brwlt 28 (1991), S.1219-1225
[21] EISELE, J.: Brwlt 24/25 (1992), S.1142-1146
[22] LITZENBURGER, K.: Brwlt 10 (1990), S.329
[23] FELGENTRAEGER, W.: Brforum 20 (1993), S.169-172
[24] NARZISS, L.: Brwlt 6 (1990), S.178-184
[25] NARZISS, L.: Brwlt 27 (1992), S.1287-1288
[26] WEINFURTNER, F., WULLINGER, F., PIENDL, A.: Brwi 19 (1966), S.390
[27] WEITH, L.: Brwi 13 (1960), S.214-218
[28] SCHMUCKER, F.: Brwlt 3 (1993), S.69
[29] Deutscher Brauer-Bund e.V.: Statist. Bericht 1992-1995
[30] NARZISS, L.: Brwlt 36 (1991), S.1523
[31] LAUFFENBERG, A.: Brwlt 40 (1992), S.1891
[32] HOUGH, J. S., BRIGGS, D. E., STEVENS, R.: Malting and brewing Sc.1971
[33] WACKERBAUER, K.: ref. Brwlt 32 (1987), S.1419-1421
[34] ANNEMÜLLER, G.: Lehrbriefreihe Bier, Heft 2
[35] Festschrift 75 Jahre Holsten-Brauerei: Hamburg 1954
[36] KOHNKE, H.-V.: Brwlt 23 (1991), S.975
[37] HODENBERG, G. W.: Brwlt 15 (1991), S.565-568
[38] DONHAUSER, S., GLAS, K., MÜLLER, O.: Brwlt 15 (1991), S.548-556
[39] WACKERBAUER, K.: ref. Brwlt 32 (1987), S.1419-1421

[40] HUG, H.: Brauerei- und Getränkerundschau 7/8 (1992), S.123
[41] LETTER, R.: EBC-Proceedings Congr. 1977, S.211-224
[42] NARZISS, L., WOLFINGER, H., STICH, S., LAIBLE, R.: Brwlt 51/52 (1992), S.2650- 2656
[43] PLETT, E.: Brind 6 (1991), S.531-533
[44] LÜDERS, J.: Brwlt 3 (1994), S.57-62
[45] N.N.: ref. Brwlt 7/8 (1993), S.302-306
[46] UNTERSTEIN, K.: Brwlt 27 (1992), S.1280-1285
[47] RIESS, S.: 80.VLB-Tagung Siegen 1993
[48] ESSLINGER, H.-M.: Brwlt 23 (1991), S.971-973 u.a.
[49] KRIBBE, J.: Brwlt 12 (1993), S.524-526
[50] MANGER, H.-J.: Lehrbriefreihe Masch. und Apparate der Ferm.
[51] SCHÖFFEL, FR.: Brwlt 110 (1970), S.1479-1501
[52] ANNEMÜLLER, G., MANGER, H.-J., MÜKE, O.: Handbuch der Brauerei, S.435 (nicht veröffentlicht)
[53] SCHUR, F.: ref. Brwlt 30 (1983), S.1281
[54] DONHAUSER, S., WAGNER, D.: Brwlt 27 (1992), S.1286-1300
[55] NARZISS, L.: ref. Brwlt 9 (1993), S.375-376
[56] GIRR, M., BARTELS, H.: Brwlt 7 (1990), S.220-227
[57] LAACKMANN, H.-P.: Brwlt 14/15 (1993), S.620-623
[58] FINIS, P., GALASKE, H.: Brwlt 128 (1988), S.666-669
[59] CHAPON, L.: Brwlt 108 (1968), S.1769-1775
[60] ESSLINGER, H.-M.: Brwlt 5 (1993), S.208
[61] LITZENBURGER, K.: Brwlt 16 (1993), S.659-668
[62] ANNEMÜLLER, G., MANGER, H.-J.: 2.Dresdner Brauertag 23.April 1993
[63] GEIGER, E.: Brwlt 16 (1993), S.646-649
[64] KRIBBE, J.: Brforum 12 (1993), S.95-97
[65] WACKERBAUER, K.: Brforum 3 (1988), S.264
[66] Deutscher Brauer-Bund e.V.: 20.Stat. Bericht 1992, S.55
[67] WIEST, A.: Brwlt 20 (1993), S.880-881
[68] HACKSTAFF, B.W.: MBAA Techn.Quart 15, 1-7, 1978
[69] WACKERBAUER, K., KRÄMPER, P., TOUSSAINT, H.-J.: MfB 33 (1980), S.91-99
[70] ESSLINGER, H.-M.: Brwlt 9 (1993), S.379 u. 13 (1993), S.577 ff.
[71] GUTKNECHT, J.; Brind 4 (1993), S.272-276
[72] Patentschrift: ref. ESSLINGER, H.-M., Brwlt 22/23 (1993), S.999
[73] NARZISS, L.: Technologie der Würzebereitung, 7.Aufl., S.196
[74] PIENDL, A.: Brind 10 (1991), S.959-970
[75] ESSLINGER, H.-M.: Brwlt 18 (1993), S.789-791
[76] WOLFSEDER, A.: Brwlt 27/28 (1989), S.1180-1181
[77] KOCH, P.: 2.Dresdner Brauertag, ref. Brwlt 25 (1993), S.1118
[78] MOSSIN, B.: Brwlt 12 (1993), S.528-529
[79] Deutscher Brauer-Bund e.V.: Die deutsche Brauwirtschaft 1992
[80] SCHUMANN, G.: Brwlt 11 (1988), S.408-412
[81] Seitz-Enzinger-Noll: Hauszeitschr. Laugenbehandlung, S.24

[82] MAYER, E. S.: Brind 4 (1993), S.278-281
[83] SCHUMANN, G.: Brwlt 29 (1993), S.1272-1277
[84] FLAD, W.: Brwlt 25 (1993), S.1100-1104
[85] MÜLLER-BLANKE, N.: Getr.technik Feb. 93, 1.13-17
[86] SCHILDBACH, R.: 2.Dresdner Brauertag, ref. Brwlt 25 (1993), S.1118
[87] KÜMPEL, G.: Brind 6 (1993), S.486-492
[88] RUSS, W., MEYER-PITTROFF, R., FEIX, R., KIRNBAUER, P.: Brwlt 30 (1993), S.1328- 1334
[89] MAYER, A. F.: Brwlt 14 (1992), S.616-622 u. Brwlt 46 (1992), S.2427-2432 sowie Brwlt-Brevier 1996, S.371-394
[90] LUDWIG, H.-H.: Brforum 30 (1991), S.251-254
[91] HILGE: Brauerei-Pumpen-Taschenbuch 11/90, S.27-31
[92] BACK, W.: Brind 73 (1988), S.118-1195
[93] ANGER, H.-H.: Brforum 23 (1993), S.193-196
[94] BACK, W.: Brwlt 122 (1982), S.2090-2102
[95] Hopfenmarktbericht: Brwlt 37 (1993), S.1733
[96] SCHOTT-Engineering: Sonderdruck 600 33 d
[97] MÄNDL, B., GEIGER, E., PIENDL, A.: Brwi 27 (1974), S.57-66
[98] RATH, F.: 22.Intern. Braugerstenseminar der VLB, 13.Oktober 1993
[99] BACK, W., BOHAK, I., ACKERMANN: Brwlt 39 (1993), S.1960-1963
[100] BEHMEL, U., MEYER-PITTROFF, R.: Brwlt 42 (1993), S.2126-2136
[101] SCHILDBACH, R.: 3.Dresdner Brauertag, 22.April 1994
[102] Betriebsinformation Schmalbach-Lubeca
[103] KLEMM, W., GROSSHANS, D.: Ki Klima-Kälte-Heizung 3/92, S.78-83
[104] WEINFURTNER, F., WULLINGER, F., PIENDLA, A.: Brwi 19 (1966), S.390-395
[105] WEITH, L.: Brwi 13 (1960), S.214-218 u. S.262-267 u. S.288-294
[106] MIEDANER, H.: ref. Brwlt 44/45 (1993), S.2264
[107] SCHMIDT, H.-J.: Brwlt 44/45 (1993), S.2254-2260 u. 2269-2277
[108] BACK, W., BREU, S., WEIGAND, C.: Brwlt 31/32 (1988), S.1358-1362
[109] KIEFER, J.: Brind 11 (1993), S.1150-1158
[110] FORDEMANN, K.: Brwlt 39 (1993), S.1964-1968
[111] MÄNDL, B., GEIGER, E., PIENDLA, A.: Brwi 27 (1974), S.57-66
[112] NARZISS, L., MIEDANER, H., KERN, E., LEIBHARDT, M.: Brwlt 19/20 (1991), S.784-805
[113] SAIER, H.-D.: Brwlt 51/52 (1993), S.2578-2581
[114] NARZISS, L.: Brwlt 26 (1993), S.1136-1143
[115] DUCHEK, P.: Brwlt 24 (1993), S.1053-1059
[116] DUCHEK, P.: 81. VLB-Tagung, Münster, 15.3.94
[117] WACKERBAUER, K., EVERS, H.: 81. VLB-Tagung, Münster, 15.3.94
[118] MEYER-PITTROFF, R.: 39. Brauwirt.-Tagung, Weihenstephan, 28.4.94
[119] SCHU, G.F.: Brwlt 19 (1994), S.881-890
[120] ZIMMERMANN, H.: 23.Intern. Braugerstenseminar der VLB, 12.10.94
[121] SACHER, B.: ref. Brwlt 22/23 (1995), S.1111-1114
[122] KRÜGER, E.: 81.Oktobertagung der VLB, 12.10.94

[123] EISELT, G.: Dissertation TU Berlin 1995
[124] LINEMANN, A.: Dissertation TU Berlin 1995
[125] SCHILDBACH, R.: Brwlt 45 (1994), S.2436-2456
[126] DEWAR, J.: IOB Afrikan. Convention, ref. Brwlt 28/29 (1995), S.1396
[127] MIEDANER, H.: 40.Brauwissenschaftl. Tagung Weihenstephan, 28.4.95
[128] MÖBIUS, J.: 82.Frühjahrstagung der VLB Dresden, 14.3.95
[129] TAYLOR, J.: IOB Afrikan. Convention, ref. Brwlt 28/29 (1995), S.1396
[130] BACK, W.: 40.Brauwirtschaftl. Tagung Weihenstephan, 28.4.95
[131] SEIDL, P.: Brwlt 16/17 (1992), S.688-700
[132] MEYER-PIETROFF, R.: Brwlt 33 (1995), S.1618-1627
[133] VDI: Mechan. Brüdenkompression, 1990
[134] MEBAK: Brautechn. Untersuchungsmethoden Bd.1, S.18-19
[135] HOFMANN, H.: Brwlt 44/45 (1993), S.2275-2277
[136] BACK, W.: Brwlt 39 (1994), S.1936-1942
[137] BACK, W.: Brwlt 42 (1995), S.2068-2076
[138] BACK, W.: Brwlt 16 (1994), S.686-695
[139] ESSLINGER, H.-M.: Brwlt 24/25 (1994), S.1147-1152
[140] Der BARTH Bericht Hopfen 1994/95; 1995/96; 1996/97; 1997/98
[141] PENSCHKE, A., RUSS, W.: Brwlt 22/23 (1995), S.1108-1109
[142] KREMKOW, K.: MfB 24 (1971), S.25-32
[143] NARZISS, L.: Brwlt 45 (1995), S.2286-2301
[144] NARZISS, L.: Brwlt 49 (1995), S.2576-2606
[145] NARZISS, L.: Intern. Beer marketers symposium Denver, Okt. 1995
[146] KALINOWSKI, R.: Brforum 20 (1995), S.315-317
[147] RATH, F., MANKE, W., SARX, H.G.: Neues aus der Forschung, Weissheimer Heft 2
[148] WACKERBAUER, K.: 83.Arbeitstagung der VLB Mannheim, 18.-21.3.96
[149] LINEMANN, A., KRÜGER, E.: Brwlt 27 (1996), S.1266-1272, und 37 (1996), S.1748-1752
[150] The Emerging Markets Brewery Fund Company-Book 1998, ref. Brwlt 28/29 (1998), S.1278
[151] BACK, W., FORSTER, C., KROTTENTHALER, M., u.a.: Brwlt 38 (1997), S.1677-1692
[152] MANGER, H.-J.: Brwlt 18 (1997), S.696-701
[153] HAFFMANS, B.: Brwlt 27 (1997), S.1084-1088
[154] WACKERBAUER, K., u. HARDT, R.: Brwlt 40/41 (1996), S.1880-1889
[155] FORSTER, A.: Brwlt 31/32 (1996), S.1474-1475
[156] MAIER, J. u. NARZISS,L.: Brwlt 6 (1997), S.188-192
[157] MÖBIUS, J.: Brind 1 (1997), S.26-27
[158] BACK, W.: 42. Brauwirtsch. Tagung Weihenstephan, 22.4.97
[159] EUMANN, M.: Brwlt 6 (1997), S.197-200
[160] KEIL, H.: Brind. 4 (1997), S.216-218
[161] RATH, F.: Weissheimer Malz; Neues aus der Forschung 1
[162] RATH, F., MANKE, W., u. SARX, H. G.: Weißheimer Malz; Neues aus der Forschung 2
[163] STUKE, H.: Brind 8 (1996), S.602-607
[164] FORSTER, A.: Brind 9 (1995), S.725-730

[165] Biebelrieder Kreis; Reinigung von Mehrweg-Glasflaschen, VLB 1997
[166] ROTHKIRCH, H.: 83.Brau- und Masch.technische Tagung der VLB 1997, Braunschweig
[167] KOLBACH, P.: Mon.f.Br. 6 (1953), S.49
[168] WACKERBAUER, K., u. HARDT, R.: Brwlt 40/41 (1996), S.1880-1889
[169] KLUTHE, R., u. KASPER, H.: Alkoholische Getränke und Ernährungsmedizin; Georg[Thieme Verlag Stuttgart + New York, 1998
[170] PIENDL, A., LANGFELD, F., u. SCHWINGSHANDL, L., Brwlt 21/22 (1997), S.828-840
[171] DENK, V.: Brwlt 33/34 (1997), S.1311-1321
[172] HERRMANN, H.: Brind 1 (1995), S.24-27
[173] STIPPLER, K., WASMUTH, K., u. GATTERMEYER, P.: Brwlt 31/32 (1997), S.1265-1267 und Brwlt 35/36 (1997), S.1386-1397
[174] DELGADO, A., NIRSCHL, H., u. DENK, V.: Brwlt 7/8 (1997), S.232-235
[175] WACKERBAUER, K., TAYAMA, T., u. KUNERTH, S.: MfBrwi 7/8 (1997), S.132-137
[176] WACKERBAUER, K., TAYAMA, T., FITZNER, M., u. KUNERTH, S.: Brwlt 3 (1997), S.80-86
[177] MÖNCH, D., KRÜGER, E., u. STAHL, U.: MfBrwi 9/10 (1995), S.288-296
[178] SCHUCH, C.: Brwlt 44 (1996), S.2022-2027
[179] YANAGI, K., ISHIBASHI, Y., KONDO, H., OKA, K., u. UCHIDA, M.: Brwlt 21/22 (1997), S.841-859
[180] MANGER, H.-J., u. ANNEMÜLLER, G.: Brwlt 45 (1996), S.2160-2170
[181] NARZISS, L.: Brwlt 9 (1996), S.409-411
[182] WACKERBAUER, K., EVERS, H., u. KUNERTH, S.: Brwlt 37 (1996), S.1736-1743
[183] FORSTER, C.: Arbeitstagg. Bund der österr. Brmstr. Maria Taferl, 11.09.97
[184] EVERS, H.: Br.forum 19 (1997), S.297-298
[185] SCHAPER, M.: Br.forum 18 (1997), S.278-280
[186] FORSTER, C., NARZISS, L., u. BACK, W.: EBC-Proceedings 1997 (67), S.561-568
[187] WACKERBAUER, K., u. ZUFALL, C.: EBC-Proceedings 1997 (76), S.639-648
[188] GUNKEL, J.: FI für Rohstoffe der VLB, ref. in Brforum 1 (1998), S.4-6
[189] HERTLEIN, J., BORNAROWA, K., u. WEISSER, H: Brwlt 21/22 (1997), S.860-866
[190] FOHR, M., u. MEYER-PITTROFF, Brwlt 12 (1998), S.460-464
[191] MÜLLER, C., u. SCHILDBACH, R.: Brwlt 6 (1998), S.220-221
[192] ZIMMERMANN, H.: Brwlt. 6 (1998), S.190-194, 207-209
[193] BACK, W., KROTTENTHALER, M., u. VETTERLEIN, K. Brind. 2 (1998), S.81-86
[194] GROMUS, J,: Frühjahrstagung der VLB, 9.-11.3.98; ref. Brwlt 13 (1998), S.529
[195] European Brewery Convention; Manual of good practice; Hops and hop products, S.55
[196] SCHWILL-MIEDANER, A., EINSIEDLER, F., u. SOMMER, K.: Brwlt 12 (1998), S.466 - 471
[197] WASMUTH, K., u. GATTERMEYER, P., Brwlt 12 (1998), S.472-477
[198] EVERS, H.: Frühjahrstagung der VLB, 9.-11.3.98 Mönchengladbach
[199] EILS, H.-G., u. HERBERG, W.-D.: Brwlt 14 (1998), S.601-607
[200] ANGER, H.-M.: Jahrbuch der VLB 1996 S.247-272
[201] BACK, W., DIENER, C., u. SACHER, B.: Brwlt 28/29 (1998), S.1279-1284
[202] WACKERBAUER, K., u. ZUFALL, C.: Dresdner Brauertag, 17.4.1998, ref. Br.forum 5 (1998), S.133-134

[203] KOCH, P.: Dresdner Brauertag, 17.4.98, ref. Brforum 5 (1998), S.134
[204] LEHMANN, J., u. BACK, W.: Brind 4 (1997), S.225-227
[205] WACKERBAUER, K., u. BECKMANN, M.: Dresdner Brauertag, 17.4.1998, ref. Brforum 5 (1998), S.133
[206] BACK,W.: 43.Brauwirtschaftl. Tagung Weihenstephan, 27.4.98
[207] PIENDL, A.: Brwlt 20/21 (1998), S.922-929
[208] FORSTER, C.: 31. Technologisches Seminar Weihenstephan; 4/1-2
[209] KELCH, K.: Brwlt 24/25 (1998), S.1050-1051
[210] DE MAN, TH. A. 43.Brauwirtschaftliche Tagung Weihenstephan, 28.4.98
[211] MANGER, H.-J.: Brforum 22, 24 (1996) und 2, 4 u. 6 (1997)
[212] VOGESER, G., u. GEIGER, E.: Brwlt 24/25 (1998), S.1060-1063
[213] Deutscher Brauer-Bund e.V.: 22.Statistischer Bericht 1997
[214] BACK,W.: 35. Technologisches Seminar Weihenstephan; 1/3
[215] SCHILDBACH, R.: 31. Internationales Braugerstenseminar 2002, Berlin 8.10.02
[216] LINNEMANN,A.: Dissertation 1995 TU Berlin
[217] Hopfen - Der Barth Bericht 2001/2002
[218] AHRENS, A. Die Trinkwasserverordnung ab 1.1.2003, VLB 2002
[219] SCHWILL-MIEDANER, A. u. MIEDANER,H. Brwlt.18 (2001), S. 670 - 673
[220] EVERS, H. Brwlt. 5 (2001) S. 148 - 155
[221] HAHN,A.F.; BANKE,F.; FLOSSMANN, R.; KAIN.J.; KÖNIGER.J; Brwlt 24 (2001) S.892 - 897
[222] HACKENSELLNER, Th.; Brwlt 46/47 (1998) S. 2282 - 2288
[223] SCHWILL-MIEDANER,A.; Brwlt 17 (2002) S.603 - 606
[224] MANGER, H.; Brforum 1 (2002) S. 12 - 14 u. Brforum 2 (2002) S.43 - 45
[225] KOLLER,A.; Brwlt 17 (2002) S. 607 - 609
[226] WEINZIERL,M., STIPPLER,K., WASMUHT, K., MIEDANER,H., ENGLMANN,J. Brwlt 5 (1999) S. 185 - 189
[227] WEINZIERL,M., STIPPLER,K., FELGENTRÄGER,J., MIEDANER,H., ENGLMANN,J., Brwlt 13/14 (1999) S. 600 - 606
[228] STIPPLER,K., FELGENTRÄGER,J. Brwlt 35 (1999) S. 1556 - 1558
[229] JAKOB,E., KRIEGER,R., WAHL,R. Brwlt 5 (2001) S. 166 - 170
[230] KROTTENTHALER,M., HARTMANN,K., BACK,W. Brwlt 39 (2001) S.1690 - 1693
[231] COORS,G., KROTTENTHALER,M., BACK,W. Brwlt 42/43 (2000) S. 1696 - 1699
[232] BACK,W., FORSTER,C., KROTTENTHALER,M., LEHMANN,J., SACHER,B., THUM, B. Brwlt 38 (1997) S. 1677 - 1692
[233] KANTELBERG,B., HACKENSELLNER,Th. Brwlt 34/35 (2001) S. 1290 - 1303
[234] SCHU,G.F., STOLZ,F., JORDAN,U. Brwlt. 26 (1999) S. 1183-83
[235] SCHU,G.F., STOLZ,F., JORDAN,U., KANSY,R. Brwlt. 4 (2001) S. 116 - 17
[236] AHRENS,A. Oktobertagung der VLB 2002, ref. Brforum
[237] FAO Production Yearbook; Vol.53; 1999 S.67-68
[238] LÜTJE,H. 31. Internat. Braugerstenseminar 2002
[239] Deutscher Brauer-Bund e.V. 23. Statistischer Bericht Mai 2001
[240] Brforum H. 11 (2002) S. 309 - 311

[241] EVERS,H. Oktobertagung der VLB 2002, ref. Brforum
[242] ANGER,H.-M. Analysen 2000, Jahrbuch VLB Berlin 2000 S.233 - 261
[243] KRAUS-WEYERMANN, Th. Brwlt 5 (1996) S.213 - 216
[244] Produktspezifikationen der Fa. Aspera Brauerei, Riese GmbH
[245] FORSTER,C. Brwlt 21/22 (1999) S.995 - 997
[246] KROTTENTHALER,M. 35. Technologisches Seminar Weihenstephan 7/4
[247] ANGER, H.-M. Analysen 2001, Jahrbuch VLB Berlin 2001 S. 234 -261
[248] BAMFORTH, M. et al; Journal of the Institute of Brewing, H.4 S.235 - 239
[249] SARX, H.G. Brforum 1 (2003) S. 4 - 6
[250] ZÜRCHER,A., WUNDERLICH,S., BACK,W. 36. Technolog. Seminar Weihenstephan
[251] BACK,W. 36. Technologisches Seminar Weihenstephan 1/2
[252] KREISZ,S. 35. Technologisches Seminar Weihenstephan 5/5
[253] WACKERBAUER,K., MEYNA, St., PAHL,R. Brwlt 48 (2002) S.1826 - 1833
[254] MEZGER,R., KROTTENTHALER,M., BACK,W. Brwlt 4/5 (2003) S. 93 - 99
[255] KROTTENTHALER,M. 36. Technologisches Seminar Weihenstephan (2)
[256] ZÜRCHER, A. 36. Technologisches Seminar Weihenstephan (10)
[257] ANGER, H.-M. Analysen 2002, Jahrbuch VLB Berlin 2002 S. 294 - 356
[258] ANNEMÜLLER,G., Lehrbriefreihe Bier, Heft 3 S.99; Staatl. Getränkekontor 1979
[259] WAGNER, P. 90. Brau- und maschinentechn. Arbeitstagung der VLB, 10.-12.03.03
[260] COLESAN,F. und PETERSON,S., Brwlt 8/1999 S. 300 - 302
[261] STAHL, U., TWA der VLB Gärung, Lagerung, Abfüllung, 10.03.03
[262] HERBSTER,Th., BAARS,A. und DELGADO,A. 36. Technologisches Seminar Weihenstephan (6)
[263] LEHMANN, J., 10. Dresdner Brauertag; 9.05.03; ref. Brforum Nr.6 (2003) S.169-170
[264] HAUSER,G., EBC-Kongress 2003, L45
[265] ZÜRCHER, Chr., 10. Dresdner Brauertag; 9.05.03
[266] KROTTENTHALER, M., LEHMANN, J., MIETH, R., Brwlt 30 (2003) S. 953- 960
[267] WASMUTH,K., STIPPLER, K., GATTERMEYER,P., Brwlt 30 (2003) S. 948 - 952
[268] KAIN,J.,HAHN,F., KRIEGER,J. Brwlt 36/37 (2003) S. 1133 - 1145
[269] FELGENTRÄGER,W. Hrch. Huppmann, Sonderdruck Sept. 1993
[270] SCHU, G.F.,: Brwlt 19 (1994) S. 881-890
[271] AHRENS.A., 89. Brau- und maschinentechn. Arbeitstagung der VLB, 11.-13.03.02
[272] METHNER,F., 90. Oktobertagung der VLB, 6.-8.10.03
[273] GAUB,R., 90 Brau- und maschinentechn. Arbeitstagung der VLB, 10.-12.03.03
[274] BROENS,L., 90. Oktobertagung der VLB, 6.-8.10.03
[275] ANGER,H.-M., Jahrbuch der VLB 2002, S.294 - 324
[276] BRANDL,A., TENGE,E. u. GEIGER,E., Brwlt 39 (2003) S.1690 - 1692
[277] VOGELPOHL,H., Getränke H.4 (2002) S.30 - 33
[278] HUMELE,H. , Krones Magazin 4/2003 S. 70 - 71
[279] FISCHER,S., Krones Magazin 4/2003 S.66 -69
[280] RUST,U. u. MONZEL,A., Brforum 12 (2003) S. 329 - 332
[281] WACKERBAUER,K., EVERS,H. u. SOLTAU,K., Brwlt 51/52 (2003) S. 1756 - 1761
[282] SCHMIDT,G. Brwlt 3 (2004) S. 63 - 66

[283] BAARS,A., HERBSTER,T., SCHMIDT,T., DELGADO,A. 37. Technologisches Seminar, Weihenstephan 20. - 22.01.04 (26)
[284] KROTTENTHALER,M., REITER, T., BACK,W. 37 Technologisches Seminar , Weihenstephan 20. - 22.01.04 (25)
[285] BACK,W. 37. Technologisches Seminar, Weihenstephan 20.-22.01.04 (29/1)
[286] BACK,W., PÖSCHL,P., Brwlt 46/47 (1998) S. 2312 - 2315
[287] EVERS,H. 89. Oktobertagung VLB
[288] TENGE,C., GEIGER,E., WALLERIUS,D. Brwlt 12 (2004) S. 336-338
[289] BLÜML,S., FISCHER,S. Handbuch der Fülltechnik, Krones 2004, S. 264
[290] BARTELS,H., 11. Dresdner Brauertag, 30.04.04
[291] BACK,W. Handbuch der Fülltechnik, Krones 2004, S.218
[293] Der Barth Bericht; Hopfen 2003/2004 S. 24
[294] MANGER, H.-J., Brforum H. 7,9 u. 10 (2003) S. 193-195; S. 246-249; S. 275-279

Las abreviaciones en las referencias bibliográficas significan:

Brwlt. BRAUWELT, revista para toda la tecnología cervecera y la industria de bebidas. Verlag Hans Carl GmbH & Co. KG Nuremberg; ISSN 0724-696X

Brforum BRAUEREI FORUM, revista especializada para fábricas de cerveza y malterías, la industria de bebidas y sus asociados, servicio de información del VLB Berlin. Dirección editorial: Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) ISSN 0179-2466

Brind BRAUEREIINDUSTRIE, revista de gerenciamiento, práctica cervecera, tendencias de mercado, tecnología, técnica, embalaje, logística y marketing. Dirección editorial y editor responsable W. Sachon, Mindelheim

MfBrwi MONATSSCHRIFT FÜR BRAUWISSENSCHAFT, el órgano científico de la Facultad de Tecnología Cervecera, Tecnología Alimentaria y Ciencia Lechera, Weihenstephan, Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB), Wissenschaftliche Station für Brauerei in München

Índice alfabético

En los casos de compuestos que comienzan con números, estos últimos han sido omitidos en el índice alfabético, a los efectos de simplificar la búsqueda. Por ejemplo: en vez de 4 vinil guajacol, debe buscarse vinil guajacol.

